

# Design of an automated drip irrigation system. A case study in a blueberry cultivation nursery

Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.<sup>1,2</sup>, Diana E. Asencio-Marchena, Bach.<sup>1</sup>, Karen E. Chuquilin-Mendoza, Bach.<sup>1</sup>, Manuel A. Novoa-Rodríguez, Bach.<sup>1</sup>, Karol M. Romero-Rojas, Bach.<sup>1</sup>, Estefany M. Sandoval-Julón, Bach.<sup>1</sup>, and Manuel Malpica Rodríguez, Dr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte (UPN)-Cajamarca, Perú

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

daniel.perez@upn.pe, N00016551@upn.pe, N00020703@upn.pe, N00029229@upn.pe, N00032739@upn.pe, N00034164@upn.pe, manuel.malpica@upn.pe

*Abstract—This research was carried out with the aim of designing an automated system based on Arduino UNO for drip irrigation of blueberry cultivation. In the current context, maintain an irrigation system that optimizes water consumption while leading to efficient crop development, represents a problem that leads us to use innovations to automate an irrigation system and create an ideal condition for crops. In this regard, a methodology was developed based on the analysis of components suitable for the needs of the project, subsequently the system proposed in the Proteus software and the programming that couples the parameters of the temperature and humidity conditions using the Arduino IDE environment was designed; Overall, all the work made possible the 3D construction in the Sketchup software with the characteristics of the design proposed in a nursery located in Cajamarca-Peru. Therefore, the results obtained show that the irrigation system is responsible for supplying the water efficiently, in which the water pump operates when the temperature level is high, and the humidity level is below the established conditions.*

*Keywords—Automation, Irrigation system, simulation, Arduino UNO, humidity, temperature.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Diseño de un sistema automatizado de riego por goteo. Un caso de estudio en un vivero de cultivo de arándano

Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.<sup>1,2</sup>, Diana E. Asencio-Marchena, Bach.<sup>1</sup>, Karen E. Chuquilin-Mendoza, Bach.<sup>1</sup>, Manuel A. Novoa-Rodríguez, Bach.<sup>1</sup>, Karol M. Romero-Rojas, Bach.<sup>1</sup>, Estefany M. Sandoval-Julón, Bach.<sup>1</sup>, and Manuel Malpica Rodríguez, Dr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte (UPN)-Cajamarca, Perú

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

daniel.perez@upn.pe, N00016551@upn.pe, N00020703@upn.pe, N00029229@upn.pe, N00032739@upn.pe, N00034164@upn.pe, manuel.malpica@upn.pe

**Resumen**– La presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de diseñar un sistema automatizado basado en Arduino UNO para el riego por goteo de cultivo de arándanos. En el contexto actual, mantener un sistema de riego que optimice el consumo de agua y que a la vez lleve un eficiente desarrollo de los cultivos, representa una problemática que nos lleva a utilizar innovaciones para automatizar un sistema de riego y crear una condición ideal para los cultivos. En tal sentido, se desarrolló una metodología basada en el análisis de los componentes aptos para las necesidades del proyecto, posteriormente se diseñó el sistema propuesto en el software Proteus y la programación que acopla los parámetros de las condiciones de temperatura y humedad mediante el entorno Arduino IDE; en conjunto todo lo realizado hizo posible la construcción 3D en el software Sketchup con las características del diseño propuesto en un vivero ubicado en Cajamarca-Perú. Por consiguiente, los resultados obtenidos muestran que el sistema de riego se encarga de suministrar el agua de forma eficiente, en el cual la bomba de agua funciona cuando el nivel de temperatura es alto y el nivel de humedad está por debajo de las condiciones establecidas.

**Palabras clave**– Automatización, sistema de riego, simulación, Arduino UNO, humedad, temperatura.

**Abstract**–This research was carried out with the aim of designing an automated system based on Arduino UNO for drip irrigation of blueberry cultivation. In the current context, maintain an irrigation system that optimizes water consumption while leading to efficient crop development, represents a problem that leads us to use innovations to automate an irrigation system and create an ideal condition for crops. In this regard, a methodology was developed based on the analysis of components suitable for the needs of the project, subsequently the system proposed in the Proteus software and the programming that couples the parameters of the temperature and humidity conditions using the Arduino IDE environment was designed; Overall, all the work made possible the 3D construction in the Sketchup software with the characteristics of the design proposed in a nursery located in Cajamarca-Peru. Therefore, the results obtained show that the irrigation system is responsible for supplying the water efficiently, in which the water pump operates when the temperature level is high, and the humidity level is below the established conditions.

**Keywords**–Automation, Irrigation system, simulation, Arduino UNO, humidity, temperature.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

## I. INTRODUCCIÓN

A pesar de la era tecnológica actual, según [1] los problemas relacionados con la agricultura siempre han obstaculizado el desarrollo del país; en tal contexto, la agricultura juega un papel vital en el desarrollo de países agrícolas como el Perú, y una de las soluciones más significativas a este problema es la agricultura inteligente mediante la modernización de los métodos tradicionales de agricultura que buscan dar una respuesta al aumento de la necesidad de producir alimentos optimizando la mano de obra [2].

El uso de la tecnología en la agricultura es fundamental, ya que permite realizar actividades con más eficiencia y precisión [3]. Además, las prácticas actuales de riego en la industria agrícola y la escasez del recurso hídrico han generado la necesidad de ahorro y uso eficiente del agua [4]. Es por ello, que los sistemas inteligentes de gestión de riego buscan suplir las necesidades hídricas de cultivos [5].

El riego es una técnica milenaria que se ha ido desarrollando con los años, creando de esta manera la necesidad de utilizar equipos y sistemas que se adapten a diversas condiciones de cultivo [6].

Los métodos tradicionales de riego y gestión del agua en la agricultura son muy ineficientes, ya que presentan una baja productividad y no aseguran la sostenibilidad de la producción alimentaria a largo plazo [7]. Entre los diferentes sistemas tradicionales se encuentra el riego por flujo, que se utiliza principalmente en áreas planas; y el otro tipo que es por elevación, se aplica donde los campos están en un nivel más alto que los recursos hídricos [8], [9].

Por otro lado, existe el sistema de riego por goteo que consiste en suministrar el agua en forma de gotas, y que se caracteriza porque en cierta proporción es una alternativa eficiente al riego por inundación tradicional [10].

Existen diversas soluciones de automatización que se pueden utilizar en el sistema de riego [11], en tal sentido usar los microcontroladores Arduino, permite reducir el consumo de agua, ahorrar tiempo en la operación, disminuir costos en la implementación y simplificar el esfuerzo humano en el manejo del sistema y el monitoreo [12].

Según, [13] se comprobó que gracias a la implementación del sistema de control y automatización en base al programa de desarrollo Arduino IDE integrado con otros módulos, se facilita la regulación de la tasa de siembra en modo fuera de línea. Además, [14] indican que la implementación de elementos electrónicos ayuda a controlar y monitorear diferentes variables tales como la humedad y la temperatura, las cuales permiten analizar los datos y determinar la calidad de la producción del cultivo.

Así mismo, para [15] se logra una instalación de riego automatizado donde el sensor de humedad deba estar conectado al controlador para medir el contenido de humedad del suelo. Es por ello que menciona que uno de los cultivos más resaltantes en el país es la de arándanos, ya que ha crecido a una tasa promedio del 206% entre los años 2012-2018, así mismo, en el estudio de [16] indican que la creciente demanda de arándanos en todo el mundo, ha causado que se adopten nuevos sistemas de producción y disponibilidad de cultivos versátiles, entre los más utilizados se encuentran los de riego por goteo y por aspersión.

En [16] se muestra el diseño de un sistema de riego por goteo, en el cual se calcula la cantidad de agua necesaria para el desarrollo normal del cultivo de arándanos, es decir sin sufrir un déficit hídrico, así mismo en este estudio se hace uso del software de diseño de irrigación “IRRICAD”, desarrollado por ingenieros de irrigación en Lincoln Agritech, para obtener una eficiencia alta en distribución de agua para riego, y a su vez el acoplamiento con los datos obtenidos del tiempo de riego adecuado, el número de turnos, la humedad del suelo, entre otros.

El diseño para un sistema de riego para el cultivo de arándano se muestra en el estudio de [17], en el cual se instalaron puntos de control de campo “RTU” (unidad de terminal remota) y un programador de riego, para realizar los cambios de turno de riego de manera eficiente. Su funcionamiento inicia con la emisión de la señal del programador hacia los RTU, los cuales transforman esta señal eléctrica para accionar el solenoide ubicado en cada RTU, de esta manera se logra el paso del agua hacia la válvula hidráulica que a su vez se abrirá o cerrará tomando en cuenta los datos de disponibilidad de agua, clima y suelo.

La problemática que versa en este proyecto se enfoca en la poca disponibilidad que tienen ciertos sectores de la agroindustria para mantener hidratados los cultivos en los viveros, esto sumado a la mala gestión del recurso hídrico para el proceso de irrigación de cultivos que ocasiona daños considerables al crecimiento, es por ello que, el sistema de riego inteligente se puede utilizar como una gran herramienta para hacer frente ante los problemas actuales mencionados anteriormente [18], ya que hay muchos lugares donde el agua escasea o también cuando el exceso de agua daña al cultivo [19]. Por lo tanto, el riego de las plantas en función del clima previsto y la humedad del suelo deben considerarse para un sistema de riego inteligente. Como es el caso de la problemática que presenta un vivero de producción de arándanos en la ciudad

de Cajamarca, Perú; a la cual se le presentará la propuesta de riego automatizado mediante el uso de Arduino y demás elementos.

Es así como el control y automatización son factores importantes en el desarrollo de las industrias, ya que brindan una mejora de procesos y facilitan la supervisión de estos por medio de sensores climáticos y de cultivo [20]. Por ello, el objetivo de la presente investigación radica en dar solución a la mala gestión del recurso hídrico en la actividad agroindustrial en la región, recurso poco disponible en muchas situaciones, ya sea por la lejanía de la fuente o por la estación climática.

Para lo cual, se propone el diseño de un sistema automatizado de riego por goteo unificado para un vivero de arándanos y basado en la herramienta multiplataforma Arduino, diseñado mediante el software Fritzing y simulado a través del software Proteus por medio del uso de sensores de temperatura y humedad; para permitir la hidratación óptima de las plantaciones y obtener cosechas más fructíferas.

## II. METODOLOGÍA

El desarrollo de la metodología de esta investigación se muestra en la Fig. 1, la cual parte desde la selección de componentes adecuados y necesarios para el sistema; para posteriormente realizar el diseño del sistema hidráulico de riego por goteo y el electrónico mediante el software Fritzing, y en base a este la simulación en el software Proteus con el acoplamiento de la programación correspondiente; para finalmente realizar las pruebas de funcionamiento del sistema, y asegurar su aplicación en un contexto real modelando el sistema en un diseño a escala 3D.

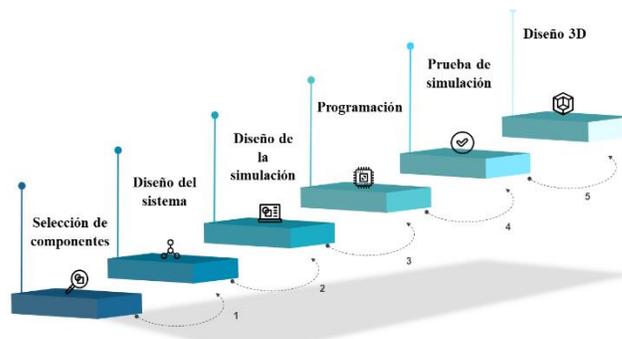


Fig. 1. Metodología.

### 1) Selección de componentes.

A continuación, se procede a detallar la evaluación de los componentes que se utilizaron para la automatización del sistema de riego, donde se especifican las ventajas y desventajas de estos.

Por medio de lo mostrado en la Tabla I, se seleccionó al sensor FC – 28 como el más adecuado para el sistema planteado en base al Arduino, ya que sus características y precisión son compatibles con las necesidades del proyecto y por su costo de mercado mucho menor.

TABLA I  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SENSORES DE HUMEDAD

Nombre del sensor	Ventajas	Desventajas
Sensor de humedad FC-28	Usado especialmente para la activación en sistemas de riego con bombas o válvulas. Se distribuye con una placa de medición estándar que permite la medición como valor analógico o como una salida digital. Precio de venta varía entre 2 a 10 dólares. Señal de salida de tipo: "LOW" cuando no hay humedad y "HIGH" cuando la humedad supera el valor de consigna.	No cuenta con una precisión para medir de forma absoluta el suelo, factor ligeramente irrelevante en sistemas de riego. Problemas de corrosión por mal uso, pero si se estaña el sensor aumentará su vida útil.
Sensor de humedad EC-5	Cuenta con tecnología FDR. Menor dependencia de variables como la salinidad y tipo de agua. Fácil instalación y manejo con respuesta más lineal respecto a otros sensores. Medición más precisa usada para calibración de suelos y minerales, suelos agrícolas de grandes extensiones, etc. [20]	Costo relativamente alto para la orientación del proyecto. Pequeño volumen de influencia para su medición. Sensible a manipulación incorrecta [21].

Según la Tabla II el sensor de tipo DHT 11 es preciso e ideal, debido a su integración con la plataforma Arduino [21]-[23]. Asimismo, un software y hardware de código abierto permiten al usuario tener una interfaz a plena disposición [24]. Después de realizar una comparativa con el sensor DHT22 (AM2302), optamos por utilizar el sensor económico DHT 11 que ofrece mayor precisión [23].

TABLA II  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

Nombre del sensor	Ventajas	Desventajas
Sensor de temperatura DHT11	Su tensión de alimentación de 3 a 5,5 VCC. Rango de temperatura 0 a 50 °C. Precisión +/- 2°C (de 0 a 50°C). Precio accesible \$2.90. DHT módulo (incluido en Micro Python firmware).	Protocolo de comunicación a través de un hilo.
Sensor de temperatura DHT22 (AM2302)	Su tensión de alimentación es 3 a 6 V CC. Rango de temperatura 0 a 50 °C.	Precisión +/- 2°C (de 0 a 50°C) aumenta la imprecisión mientras abarque mayor rango. Precio costoso \$16.53 desde la máquina import ADC ().read

Según la evaluación realizada a las bombas para determinar cuál es la indicada para el desarrollo de la propuesta (Tabla III),

se eligió la bomba de agua de 12V Walfront, debido a que esta bomba mueve el fluido gracias al vapor que circula la turbina y de esta manera se ahorra el consumo eléctrico de las bombas que se estima sobre un 6% de la potencia nominal de la central, por lo tanto es la más adecuada y óptima para el desarrollo del sistema propuesto [25].

TABLA III  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SENSORES DE VÁLVULAS

Nombre del sensor	Ventajas	Desventajas
Bomba de agua de 12 V Walfront	Buena autonomía, comodidad y potencia en un tamaño reducido. Cuenta con la posibilidad de elevación de hasta 2.5 metros. Su vida útil aumenta al trabajar con materiales de alta calidad. Eficiencia energética garantizada. Funcionan directamente o sólo con las placas solares	El rompimiento de la bomba pone en peligro su integridad física. Su costo es mayor al de una bomba sumergible.
Sensor de humedad EC-5	Es una opción rentable para poder bombear agua ya sea desde pozos o depósitos. Es de fácil transporte e instalación. Al sumergirla hay una presión de fluido positiva en la entrada de la bomba. Ofrece un bombeo eficiente ya que utiliza la cabeza de líquido en la que está sumergida para funcionar.	Este tipo de bombas no son válidas para todos los usos. Su motor tiende a recalentarse fácilmente. Altura de aspiración excesiva. Debido al mal uso, la válvula de fondo parcialmente se encontraría obstruida. Es más costosa que otro tipo de bombas de agua.

## 2) Diseño del sistema.

La Fig. 2 muestra el diseño del sistema hidráulico para riego por goteo, el cual inicia con la captación de agua por medio de un tanque, que estará conectado a un filtro encargado de eliminar las impurezas del agua para luego conectarse a la bomba, que va a tener la función de encenderse o apagarse de acuerdo con los datos que brinda el sistema de control, para finalmente proceder a hidratar el cultivo de arándanos por medio de la red de distribución establecida que está compuesta por el sistema de tuberías y tubos de goteo.

Así mismo, en la Fig. 3 se muestra el flujo de trabajo de la bomba, la cual se alimenta de energía eléctrica para operar cuando el sensor de humedad controlado por Arduino UNO transmita la señal. Es por ello, que cuando el sensor de humedad detecta un bajo nivel de humedad, la bomba se activará hasta obtener el nivel deseado. Por otro lado, cuando se alcance el Setpoint de humedad, la bomba permanecerá inactiva.

El procedimiento que se realiza para la elaboración del diseño del sistema electrónico incorpora los siguientes componentes: (i) Sensor de humedad de suelo FC-28: Para medir la humedad de la tierra. (ii) Sensor de temperatura DHT11: Responsable de medir la temperatura del aire. (iii)

Pantalla LCD: Permite visualizar los valores obtenidos de los sensores. (iv) Arduino Uno: Encargado de recibir los valores emitidos por los sensores y a su vez procesarlos. (v) Relé: Permite y regula el paso de la energía en el circuito eléctrico. (vi) Transistor: Responsable de controlar el flujo de la energía eléctrica. (vii) Bomba: Encargada de encender o apagar el bombeo y suministro del agua a los cultivos. (viii) Diodo: Se encarga de dirigir la corriente en un solo sentido y proteger al sistema de corrientes parásitas. (ix) Resistencia: Responsable de proteger el sistema mediante la obstrucción de la corriente eléctrica.

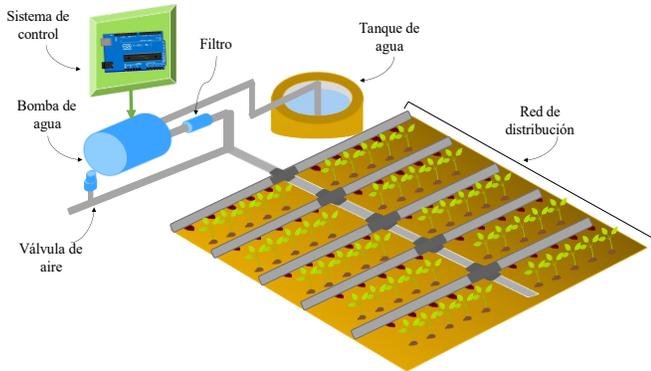


Fig. 2. Diseño del sistema de riego por goteo.

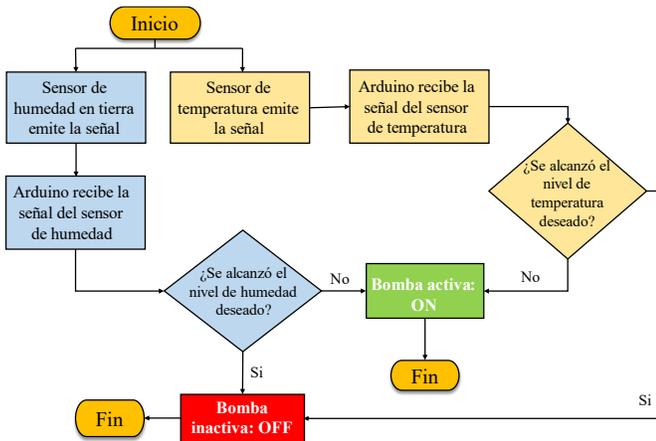


Fig. 3. Diagrama de flujo del funcionamiento de la bomba.

A continuación, se muestra las conexiones que se realizaron para cada componente:

La Tabla IV detalla las conexiones realizadas entre los sensores y/o actuadores y la placa Arduino UNO, esto se evidencia también de manera gráfica en la Fig. 4 realizada en el software Proteus.

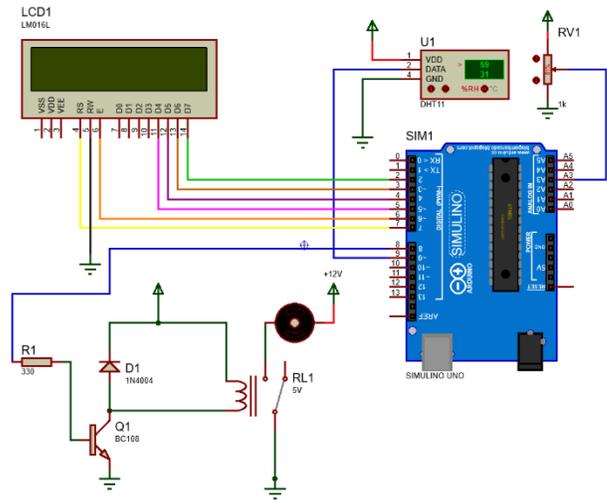


Fig. 4. Diseño del sistema de control en Proteus.

TABLA IV  
CONEXIONES DE SENSORES Y ACTUADORES

Sensor/Actuadores	Origen	Destino
Humedad FC-28	Pin A3 de Arduino	Señal del sensor
	VDD	VDD (Terminal Power)
	GND	GND
Temperatura DTH11	Pin 9 de Arduino	DATA
	VDD	VDD
	GND	GND
Pantalla LCD	Pin 7 de Arduino	RS
	Pin 6 de Arduino	E
	Pin 2 de Arduino	D7
	Pin 3 de Arduino	D6
	Pin 4 de Arduino	D5
	GND	RW
Resistencia, transistor y diodo	Pin 8 del Arduino	Terminal Nro. 1 de la resistencia
	Terminal Nro. 2 de la resistencia	Base del transistor
	Emisor del transistor	GND
	Colector del transistor	Ánodo del diodo
	Cátodo del diodo	Terminal Power
Relé y bomba	Terminal Power	Bobina 1 del relé
	Bobina 2 del relé	Colector del transistor
	Contacto común	GND
	Contacto Normalmente abierto	Polo negativo de la bomba
	Polo positivo de la bomba	Terminal Power 12V

En la Fig. 5 también se evidencia el modelo electrónico del sistema de riego por goteo diseñado en el software Fritzing, el cual está conformada por un sistema de control (Arduino UNO), que va a recibir y procesar los datos provenientes de los sensores de humedad y temperatura, mismos datos son visualizados en la pantalla LCD y con los datos ya procesados,

el Arduino va a comandar a la bomba para que se efectúe el riego.

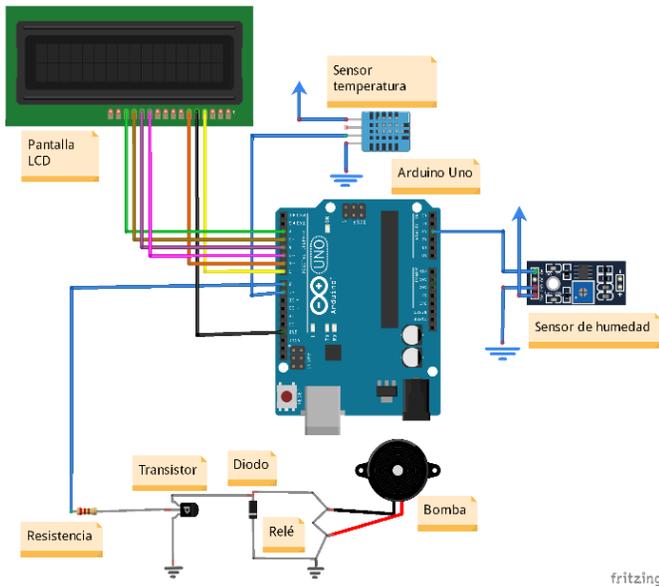


Fig. 5. Diseño del sistema de control en Fritzing.

### 3) Procedimiento de operación del sistema.

El funcionamiento del sistema se basa principalmente en la obtención de los valores de humedad y temperatura, procesar los mismos y frente a ellos ejecutar el accionamiento o no de la bomba, acompañado del mensaje de alerta ON y OFF que se va a visualizar en la pantalla LCD, lo mencionado anteriormente se muestra a detalle en la Fig. 6 Fig. 7.

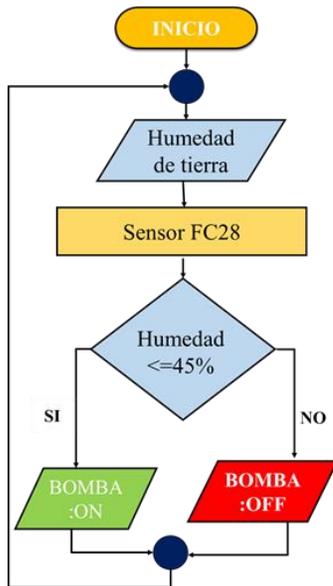


Fig. 6. Diagrama de flujo de trabajo del sensor de humedad

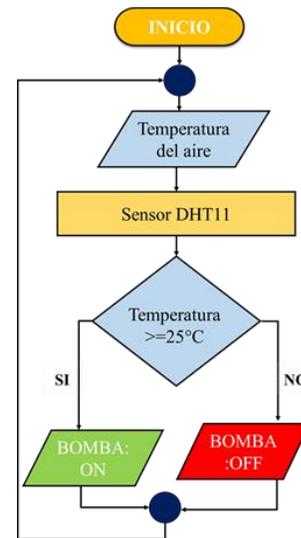


Fig. 7. Diagrama de flujo de trabajo del sensor de temperatura.

### 4) Simulación del sistema en Proteus.

La Fig. 8 muestra la propuesta general del sistema de riego por goteo automatizado. Este sistema está conformado inicialmente por una plataforma Arduino UNO, la cual se obtuvo de la librería Simulino integrada al software Proteus, además de un sensor de temperatura y un sensor de humedad. La codificación Arduino empleada es por medio del software Arduino IDE, con el fin de simular el funcionamiento del sistema mediante el software Proteus Desing Suite 8.10 [26].

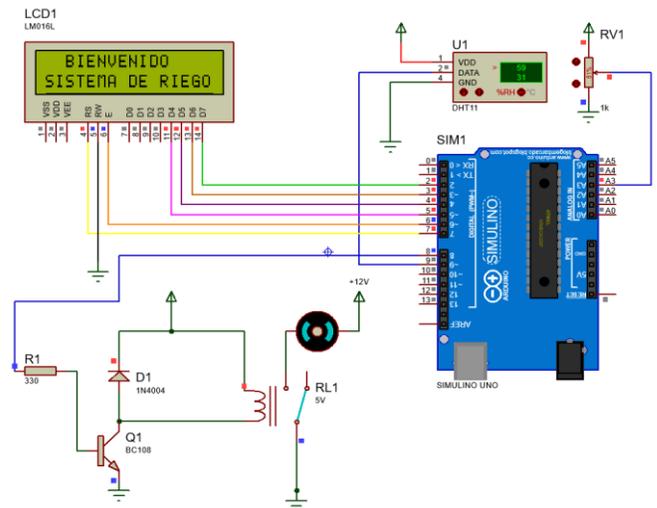


Fig. 8. Diseño en Proteus Design Suite 8.10.

### 5) Programación en Arduino IDE.

La programación del sistema de riego se divide en tres sectores; la primera se usa para definir los pines y librerías a utilizar, la segunda "Void Setup" para la configuración de las entradas y partes de la escritura en el display (pantalla LCD), el cual muestra el mensaje "Bienvenido Sistema de Riego"; y en la tercera "Void Loop" se programa las funciones y condiciones

de funcionamiento del sistema, permitiendo establecer los parámetros de la temperatura (T); la humedad del suelo (HS); humedad relativa (HR) y estado de la bomba (B) en ON u OFF (encendido y apagado), como se observa en Fig. 9.

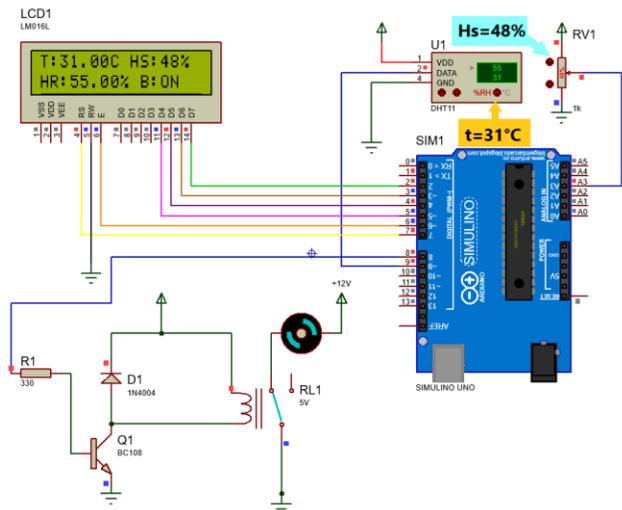


Fig. 9. Resultado de la simulación cuando el estado de la bomba es ON.

### III. RESULTADOS

#### Aplicación Software Fritzing y Proteus

Tras realizar el diseño del sistema de riego automatizado en el Software Fritzing, se procedió aplicar este en el Software Proteus, para la simulación, análisis y verificación del funcionamiento del sistema, la simulación brinda dos condiciones diferentes del circuito completo del proyecto los cuales se muestran en la Tabla V; aquí se incluye es establecimiento de valores se los sensores entre 25 °C y 35 °C para mantener las condiciones del vivero.

Teniendo como resultado la visibilidad de la interfaz y de los datos respectivos en la pantalla LCD del sistema, la cual indica como se observa en la Fig. 9 y Fig. 10. los valores de la temperatura y humedad, así como también el estado de la bomba de agua.

TABLA V

PARÁMETROS DE CONDICIONES PARA DETERMINAR EL ESTADO DE LA BOMBA DE AGUA

Sensores	Estado de la bomba de agua
Sensor de temperatura = ( $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) o Sensor de humedad = ( $\leq 45\%$ )	ON
Sensor de temperatura = ( $< 25^{\circ}\text{C}$ ) o Sensor de humedad = ( $> 45\%$ )	OFF

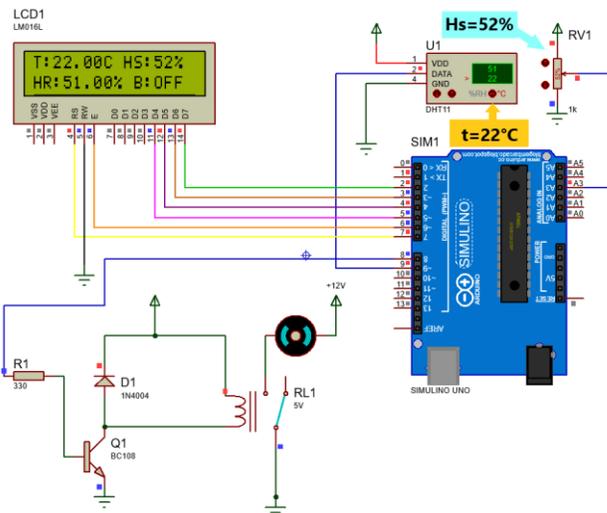


Fig. 10. Resultado de la simulación cuando el estado de la bomba es OFF.

#### Aplicación Software Sketchup.

Una vez realizada la simulación en el software Proteus mediante el uso del Arduino para el sistema de riego por goteo, en esta sección se pasó a diseñar un modelo 3D a escala del vivero con la instalación de dicho sistema como se muestra en la Fig. 11.

Se utiliza Sketchup porque es un software reconocido que combina un conjunto de herramientas sencillas y potentes facilitando su visualización a través de herramientas de cámara tridimensional renderizados en tiempo real, además de acoplar el sistema de automatización en base al Arduino [27].



Fig. 11. Vista frontal del vivero.

Así mismo, en la Fig. 12 se tiene el módulo del sistema de control situado en una caja de alto voltaje donde se encuentran los comandos manuales de encendido y apagado (verde y rojo), se muestra también la representación gráfica del sistema Arduino y las conexiones a los sensores de temperatura y humedad representados de color amarillo y celeste respectivamente.

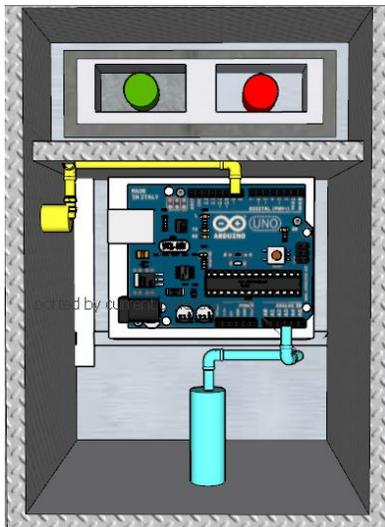


Fig. 12. Módulo del sistema de control.

Por otro lado, la ubicación de los sensores de humedad situados en las plantaciones de arándanos se visualiza en la Fig. 13, y el sensor de temperatura ubicado en la parte superior al sistema de riego del vivero aproximadamente a 2.5 m de la superficie, esto debido a que en esta distancia, el sensor capta la temperatura de manera adecuada, tal como se muestra en la Fig. 14.



Fig. 13. Sensor de humedad en la plantación de arándano.



Fig. 14. Sensor de temperatura del vivero.

#### Información técnica

En cuanto a los requerimientos climáticos, los arándanos son bayas que germinan en distintos tipos de climas, la planta necesita una temperatura para crecer estar entre los 8 °C y 30

°C, siendo los valores óptimos entre 15 °C a 25 °C. Su crecimiento es mejor durante las estaciones frías y suelen madurar en las estaciones más calurosas; teniendo en cuenta que la calidad del fruto es mayor si son cultivados en lugares de climas fríos.

Del mismo modo para el óptimo crecimiento de los arándanos es necesario un suelo arenoso o arcilloso, mismo que debe ser húmedo y presentar un nivel de humedad entre 40% a 50 % y contar con un buen drenaje libre de excesos de humedad. El drenaje será de mucha ayuda para reducir el exceso de agua y humedad para el correcto cuidado de las raíces [28].

#### Sistema de riego precedente

El sistema de riego utilizado actualmente en el vivero es mediante la modalidad de aspersión, al cual el agua llega a las plantas en forma de “lluvia”. A continuación, en la Fig. 15 se muestra un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema actual.

Las ventajas de usar este sistema son las siguientes: el agua llega a toda el área deseada para el riego, ideal para producciones en terrenos poco uniformes, la presión de agua no afecta a las plantas ya que su distribución es homogénea. Sin embargo, utilizar este sistema tiene ciertas desventajas como: mayor consumo de agua que el requerido en el riego por goteo, se necesita determinar bien la distancia entre aspersores para tener un coeficiente de uniformidad superior al 80% [29]. Estos datos adquiridos de su investigación nos demuestran que este sistema no cumple con las necesidades del estudio.

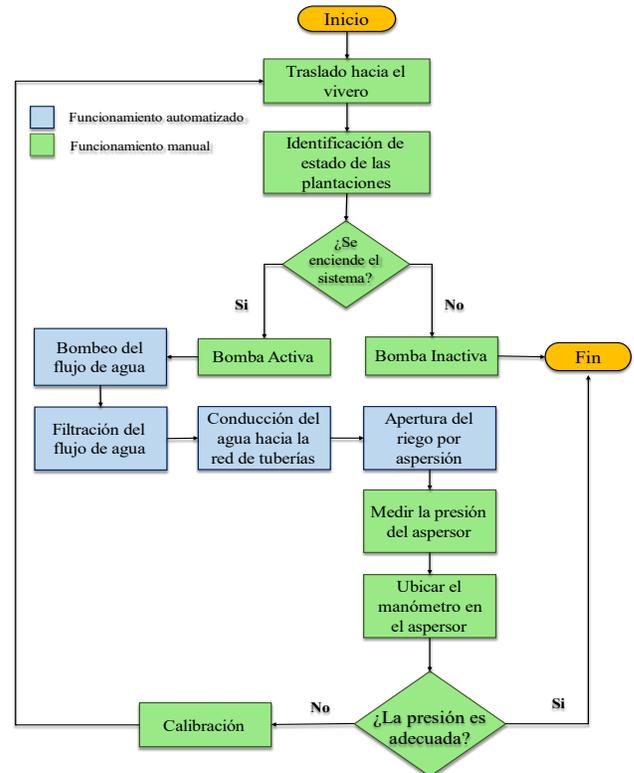


Fig. 15. Diagrama de flujo del sistema de riego actual.

### Sistema de riego propuesto

Debido a la situación actual, se propone un sistema de riego por goteo que nos permite una gestión más eficiente del agua y de la mano de obra como observa en la Fig. 15 en la que es notable la diferencia de intervención manual y automatizada en comparación a la Fig. 16 que muestra el sistema de riego actual. Así mismo, es importante recalcar que el sistema propuesto también permite el fertirriego, disminuye la presencia de malezas y mejoras significativas en la producción y calidad de los frutos [30].

Por otro lado, las características morfológicas del arándano desde el punto de vista hídrico son sensibles tanto al déficit como al exceso de agua. Es por ello que se eligió esta modalidad de riego, ya que es aplicado para el cultivo de arándanos, siendo esta una planta expuesta frecuentemente al estrés hídrico [31].

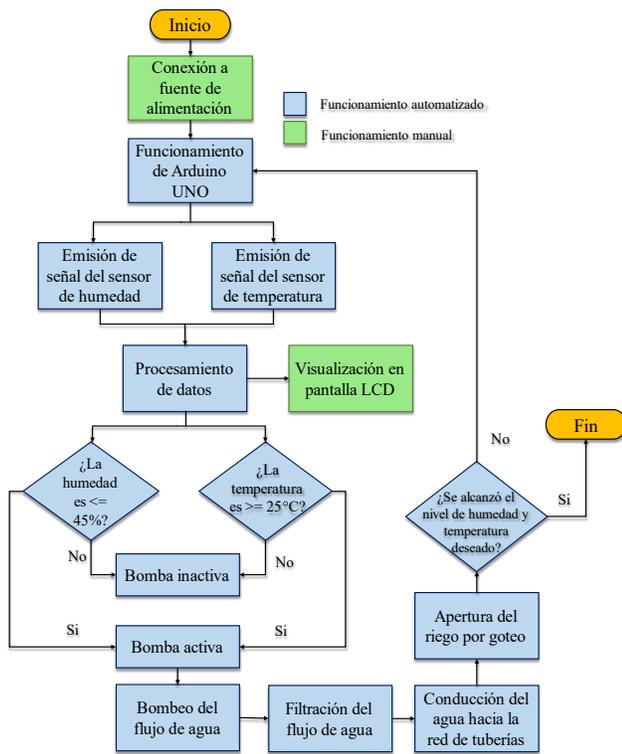


Fig. 16. Diagrama de flujo del sistema propuesto.

### IV. CONCLUSIONES

A través de los softwares Fritzing y Proteus se puede diseñar sistemas en base a Arduino y sensores, lo cual nos permitió también simular de forma virtual el modelo de riego propuesto según los parámetros establecidos, demostrando ser herramientas eficaces para plasmar prototipos virtuales a la realidad.

Por otro lado, el rol que desempeña el software Arduino IDE en un sistema automatizado como el presentado, es fundamental ya que por medio de este se establece la programación necesaria a seguir en base a los parámetros de temperatura y humedad adecuados para el cultivo de arándanos.

La simulación en el software SketchUp permitió acercar aún más el diseño propuesto a un escenario real, generando un prototipo del vivero en 3D con la inserción del sistema automatizado.

Finalmente, concluimos que un sistema de riego por goteo aplicado para el cultivo de arándanos permite una gestión eficiente del recurso hídrico y, la automatización de esta modalidad de riego hace posible un control óptimo según las necesidades vitales de las plantas; frente al manejo manual convencional que implica mayor esfuerzo y superior costo.

### REFERENCIAS

- [1] B. Narayanavaram, E. M. K. Reddy, and M. R. Rashmi, "Arduino based Automation of Agriculture A Step towards Modernization of Agriculture," in *Proceedings of the 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2020*, Nov. 2020, pp. 1184–1189. doi: 10.1109/ICECA49313.2020.9297546.
- [2] R. Choudhary, M. Rajarathnam, M. Alekya, K. P. Hari, and S. S. Kumar, "Agriculture automation system," in *Journal of Physics: Conference Series*, Dec. 2020, vol. 1706, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1706/1/012089.
- [3] L. M. Da Silva, E. H. Junior, K. J. P. Carneiro, J. M. De Matos, A. P. Anacilia, and R. D. S. Barreto, "Tellus-Greenhouse Irrigation Automation System," in *Proceedings - IEEE Symposium on Computers and Communications*, Nov. 2018, vol. 2018-June, pp. 1239–1242. doi: 10.1109/ISCC.2018.8538494.
- [4] D. Ascencios, K. Meza, J. Lluen, and G. Simon, "CALIBRACIÓN, VALIDACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO USANDO UN MICROCONTROLADOR ARDUINO," *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, vol. 22, no. 1, pp. 95–105, Jan. 2020, doi: 10.18271/ria.2020.540.
- [5] D. R. Lino, B. P. Lima Neto, L. L. de Queiroz, P. B. Feitosa, A. A. Rodrigues, and A. Dos Santos Teixeira, "Irrigação automatizada com plataforma de desenvolvimento arduino na horta didática da universidade federal do ceará," *IRRIGA*, vol. 1, no. 1 Special Issue, pp. 85–93, Jan. 2017, doi: 10.15809/irriga.2017v1n1p85-93.
- [6] G. R. Correia, H. R. O. Rocha, and S. D. Rissino, "Automação de Sistema de Irrigação com Monitoramento Via Aplicativo Web," *Revista Engenharia na Agricultura - REVENG*, vol. 24, no. 4, pp. 314–325, Aug. 2016, doi: 10.13083/1414-3984/reveng.v24n4p314-325.
- [7] R. K. Sidhu, R. Kumar, P. S. Rana, and M. L. Jat, "Automation in drip irrigation for enhancing water use efficiency in cereal systems of South Asia: Status and prospects," in *Advances in Agronomy*, vol. 167, Nueva Delhi: Academic Press Inc., 2021, pp. 247–300. doi: 10.1016/bs.agron.2021.01.002.
- [8] R. Nageswara and B. Sridhar, "IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Systems and Control, ICISC 2018*, Jun. 2018, pp. 478–483. doi: 10.1109/ICISC.2018.8399118.
- [9] P. Rajalakshmi and S. Devi Mahalakshmi, "IoT based crop-field monitoring and irrigation automation," in *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2016*, Oct. 2016. doi: 10.1109/ISCO.2016.7726900.
- [10] T. Savic and M. Radonjic, "Proposal of solution for automated irrigation system," in *24th Telecommunications Forum, TELFOR 2016*, Jan. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/TELFOR.2016.7818867.
- [11] F. J. Mesas, D. Verdú, J. E. Meroño, M. Sánchez, and A. García, "Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture," *Biosyst Eng*, vol. 137, pp. 73–83, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.005.

- [12] V. V. Aulin *et al.*, "Development of mechatronic module for the seeding control system," *INMATEH - Agricultural Engineering*, vol. 59, no. 3, pp. 1–8, 2019, doi: 10.35633/INMATEH-59-20.
- [13] P. Rincón, J. Silva, and A. Torres, "Automatización de invernadero para producción agrícola con tecnología de punta a bajo costo," *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, vol. 3, p. 9, 2017, doi: 10.23850/25004468.1419.
- [14] S. A. Hamoodi, A. N. Hamoodi, and G. M. Haydar, "Automated irrigation system based on soil moisture using arduino board," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 870–876, Jun. 2020, doi: 10.11591/eei.v9i3.1736.
- [15] Y. Fang, G. H. Nunez, M. N. da Silva, D. A. Phillips, and P. R. Munoz, "A review for southern highbush blueberry alternative production systems," *Agronomy*, vol. 10, no. 10, p. 1531, Oct. 2020, doi: 10.3390/AGRONOMY10101531.
- [16] J. Carrasco, "Planificación y diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de arándano (*Vaccinium Myrtillus*) en fundo Lefkada de 116.64 Ha del sector de riego Olmos, utilizando software de diseño," Universidad Nacional de Piura, Piura, 2020.
- [17] G. Villavicencio, "Diseño del sistema de riego para el cultivo de arándano en la agrícola Cerro Prieto-Chiclayo," Universidad Nacional Agraria La Molina, Chiclayo, 2017.
- [18] R. H. Faisal, C. Saha, M. H. Hasan, and P. K. Kundu, "Power Efficient Distant Controlled Smart Irrigation System for AMAN and BORO Rice," in *2018 21st International Conference of Computer and Information Technology, ICCIT 2018*, Jan. 2019. doi: 10.1109/ICCITECHN.2018.8631927.
- [19] A. Cabarcas, C. Arrieta, D. Cermeno, H. Leal, R. Mendoza, and C. Rosales, "Irrigation system for precision agriculture supported in the measurement of environmental variables," in *Proceedings - 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2019*, Oct. 2019, pp. 671–676. doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00125.
- [20] Z. Veras, "Diseño de un sistema electrónico para riego de césped de jardín empleando un sensor de humedad de suelos y comunicación inalámbrica," Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2015.
- [21] Á. Suazo, "Desempeño de un sensor de humedad en un suelo con vegetación," Concepción, Jun. 2014.
- [22] G. Marín, R. Lozada, C. Huamán, N. Cáceres, and R. Bolaños, "Construcción de termohigrómetro prototipo con base datalogger en placa Arduino para interior de edificaciones," *CONCYTEC*, vol. 22, pp. 171–178, Nov. 2018.
- [23] M. Azúa, M. Vázquez, R. Arteaga, and R. Hernández, "Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino," *Rev Mex De Cienc Agric*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2017, doi: 10.29312/remexca.v8i1.67.
- [24] D. Kolokotsa *et al.*, "Development of a web based energy management system for University Campuses: The CAMP-IT platform," *Energy Build*, vol. 123, pp. 119–135, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.04.038.
- [25] J. Aguilera, "Análisis De Confiabilidad, Mantenibilidad Y Disponibilidad," Oct. 2020. [http://oa.upm.es/65351/1/TFG\\_JAVIER\\_AGUILERA\\_HERNAND O.pdf](http://oa.upm.es/65351/1/TFG_JAVIER_AGUILERA_HERNAND O.pdf) (accessed Jun. 07, 2021).
- [26] B. Chan, S. A. Jumaat, and M. N. Abdullah, "Solar Powered Paddy Irrigation System Using Arduino UNO Microcontroller: Battery Performance," in *Journal of Physics: Conference Series*, Jun. 2020, vol. 1529, no. 5. doi: 10.1088/1742-6596/1529/5/052080.
- [27] Z. Lin, W. M. Guo, and L. Jing, "The application of process based on sketchup in landscape design: A case of Helv Fuan shopping street landscape design of Hudai," in *ICCA SM 2010 - 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling, Proceedings*, 2010, vol. 15. doi: 10.1109/ICCA SM.2010.5622540.
- [28] T. Gutierrez, F. Gribenow, S. Rolando, and W. Zuñiga, "Exportación de arándano azul orgánico a Estados Unidos Item Type info:eu-repo/semantics/masterThesis," Universidad Privada de Ciencias Aplicadas, Lima, 2017.
- [29] P. Forbes, E. Mangas, and N. Pagano, "Diseño y Evaluación de Proyectos Agroindustriales," Santa Rosa, Dec. 2009.
- [30] M. Liotta, R. Carrión, N. Ciancaglini, and A. Olguín, "Manual de capacitación - Riego por goteo," PROSAP, 2015.
- [31] M. Gordó, "Guía práctica para el cultivo de Arándanos en la zona norte de la provincia de Buenos Aires," p. 15, 2008.