



# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**En opción al Título de Ingeniero en Automática**

**Autor**

**Oniel Velázquez García**

**Tutor**

**MSc. Luisa Villafruela Loperena**

**Consultante**

**Dr. C. Rodolfo González Ortega**

**Noviembre, 2023**

# TRABAJO DE DIPLOMA

**Título**

**Automatización del sistema de riego y monitoreo de variables  
ambientales en el Huerto de la Finca “El Retiro”**

**Autor**

**Oniel Velázquez García**

**Tutor**

**MSc. Luisa Villafruela Loperena**

**Consultante**

**Dr. C. Rodolfo González Ortega**

**Noviembre, 2023**

Hago constar que el presente Trabajo de Diploma fue realizado en la Universidad de Oriente como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución para los fines que estime convenientes, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Nombre y firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Nombre y firma del autor

---

Nombre y firma del Tutor

---

Fecha

---

Nombre y firma del Jefe de Carrera

---

Fecha

---

Nombre y firma del Jefe de Departamento

---

Fecha

## Dedicatoria

*Dedico este trabajo a mis padres, que siempre confiaron y apoyaron mis decisiones. A mi hermano por siempre estar presente y a mi tía Maritza, por todo.*

## Agradecimientos

*A toda mi familia, que siempre me ha apoyado.*

*A todos mis amigos de la universidad, que formamos una  
familia.*

*A mi consultante y compañero Dr. C. Rodolfo González  
Ortega*

*A los demás compañeros del proyecto, Rodolfo Lázaro y  
Dennis*

*A mi tutora MSc. Luisa Villafruela Lorepena por  
ayudarme en todo el transcurso de la carrera.*

## Listado de imágenes

Figura 1. Visualización de imágenes satelitales bajo falso color mediante superposición de bandas [13].....	7
Figura 2. Equipo de conducción autónoma sobre un tractor .....	7
Figura 3. Peladora de espárragos ultra compacta de HEPRO GmbH [18].....	9
Figura 4. Mapa de rendimiento de los campos [20] .....	11
Figura 5. Imagen de color verdadero georreferenciada de la Unidad Empresarial de Base Antonio Maceo, tomada con el satélite Sentinel-2 [13] .....	12
Figura 6. Placa de Arduino Uno R3 [33] .....	19
Figura 7. Arduino Mega 2560 [34] .....	20
Figura 8. IDE Arduino.....	21
Figura 9. Sistema de riego en un cantero.....	24
Figura 10. Instalación de las electroválvulas de los canteros .....	24
Figura 11. Esquema en bloques general del proceso.....	26
Figura 12. Sensor de flujo FS400A [40] .....	27
Figura 13. LM35 en encapsulación TO92 .....	29
Figura 14. Sensor ultrasónico HC-SR04 [42].....	30
Figura 15. Sensor de humedad Catnip v2.7.8 [44] .....	32
Figura 16. Controlador de Tiempo Real (RTC) DS3231 .....	35
Figura 17. Sensor de nivel de líquidos t1592 .....	35
Figura 18. Sensor de humedad y temperatura Dht11.....	36
Figura 19. Electroválvula Rain Bird 100-DV de 1" .....	38
Figura 20. Bomba hidráulica Thebe TP-70JUNIOR [51].....	39
Figura 21. Módulo bluetooth HC-05 .....	40
Figura 22. Pantalla Oled 0.91" I2C SSD1306 [53] .....	41
Figura 23. Diseño de un relé típico con descripción de sus partes [54].....	42
Figura 24. Módulo relé de 4 canales .....	43
Figura 25. Relés de un canal.....	43
Figura 26. Contactor electromagnético Homer XMC0-407.....	45
Figura 27. Control ON-OFF con histéresis .....	46
Figura 28. Flujo del programa principal de Arduino Uno.....	47
Figura 29. Flujo del proceso de control de nivel .....	48
Figura 30. Flujo principal de Arduino Mega .....	50
Figura 31. Diagrama de flujo del control de humedad del suelo .....	51
Figura 32. Visualización de datos del controlador Arduino UNO.....	52
Figura 33. Visualización en la PC de la información recogida por el Arduino Mega.....	53

## Listado de tablas

Tabla 1. Registros de Catnip v2.7.8 [46].....	33
Tabla 2. HC-05 especificaciones generales [52] .....	40
Tabla 3. Precio en USD de los componentes y materiales del proyecto.....	53

## **Resumen**

En aras de incrementar la producción agrícola y abastecer a una población mundial en crecimiento, la agricultura ha experimentado una evolución constante y significativa. Hoy en día, junto al avance tecnológico, se han implementado novedosos sistemas automatizados que, orientados a la agricultura, pretenden entre otras cosas, aumentar su producción, a lo que se le llama Agricultura de Precisión.

El huerto El Retiro tenía un sistema de riego rudimentario, por lo que una persona debía instalar una manguera a una bomba hidráulica, para así a su apreciación regar las hortalizas. El riego manual conllevaba muchas veces a una producción ineficiente y a un consumo excesivo de agua, por lo que en la investigación se automatizó el riego del huerto y se monitorearon las diferentes variables ambientales involucradas en el desarrollo vegetativo de las plantas. Para su realización se hizo un análisis de fuentes documentales, se realizó la observación participante como técnica y método empírico, además de la implementación del método histórico-lógico, de análisis-síntesis y como método experimental la programación.

Mediante la creación de un sistema de control automatizado y monitoreo de variables ambientales del huerto de la finca El Retiro se logra un aumento de la producción, disminución del consumo de agua y se aportó al cuidado del medio ambiente.

**Palabras claves:** Producción agrícola, sistemas automatizados, agricultura de precisión, riego, monitoreo.

## **Abstract**

*In order to increase agricultural production and supply a growing world population, agriculture has undergone a constant and significant evolution. Nowadays, together with technological advances, new automated systems have been implemented, which, oriented to agriculture, aim, among other things, to increase production, which is called Precision Agriculture.*

*El Retiro orchard had a rudimentary irrigation system, so a person had to install a hose to a hydraulic pump, in order to irrigate the vegetables. Manual irrigation often led to inefficient production and excessive water consumption, so in the research the irrigation of the orchard was automated and the different environmental variables involved in the vegetative development of the plants were monitored. An analysis of documentary sources was made, participant observation was used as a technique and empirical method, in addition to the implementation of the historical-logical method, analysis-synthesis and programming as an experimental method.*

*Through the creation of an automated control system and monitoring of environmental variables of the orchard of El Retiro farm, an increase in production, a decrease in water consumption and a contribution to the care of the environment were achieved.*

**Key-words:** *Agricultural production, automated systems, precision agriculture, irrigation, monitoring*

## ÍNDICE

Listado de imágenes .....	I
Listado de tablas .....	II
Resumen .....	III
Abstract .....	IV
INTRODUCCION .....	1
Capítulo 1 . La agricultura de precisión, sistemas de riego y su automatización	5
1.1. La agricultura de precisión .....	5
1.1.1. Tecnologías modernas utilizadas en la agricultura .....	5
1.1.2. Ejemplos de automatización agrícola en diferentes partes del mundo .....	8
1.1.3. Ejemplos de la automatización de la agricultura en Cuba .....	10
1.2. Sistemas de riego .....	13
1.2.1. Riego por aspersión .....	13
1.2.2. Riego por superficie .....	15
1.2.3. Riego localizado.....	16
1.3. Automatización de huertos familiares .....	17
1.4. Plataforma Arduino .....	18
1.4.1. Hardware de Arduino .....	19
1.4.2. Software de Arduino .....	20
1.4.3. Arduino en la automatización.....	21
Capítulo 2 . Diseño e implementación de la automatización del control de riego y el control de nivel de agua .....	23
2.1. Caracterización del huerto familiar de la finca El Retiro .....	23
2.2. Diseño del sistema de control .....	25
2.3. Instrumentación seleccionada.....	26
2.3.1. Sensores.....	26
2.3.1.1. Sensor de flujo FS400A.....	26

2.3.1.2. Sensor de temperatura LM35 .....	28
2.3.1.3. Sensor ultrasónico HC-SR04.....	29
2.3.1.4. Sensor de humedad Catnip v2.7.8 .....	31
2.3.1.5. Reloj de Tiempo Real DS3231 .....	34
2.3.1.6. Sensor de nivel de líquidos t1592.....	35
2.3.1.7. Sensor de humedad y temperatura Dht11.....	35
2.3.2. Actuadores.....	36
2.3.2.1. Válvula solenoide Rain Bird 100-DV.....	36
2.3.2.2. Bomba hidráulica Thebe TP-70JUNIOR.....	38
2.3.3. Módulos de comunicación y módulos de potencia.....	39
2.3.3.1. Modulo bluetooth HC-05.....	39
2.3.3.2. Pantalla Oled 0.91" I2C SSD1306 .....	40
2.3.3.3. Módulos relé .....	41
2.3.3.4. Contactor electromagnético Homer XMC0-407 .....	43
2.4. Implementación del sistema de control .....	46
2.4.1. Control de nivel de agua en el tanque .....	46
2.4.2. Automatización del riego.....	49
2.5. Visualización de datos .....	52
2.6. Valoración económica.....	53
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES .....	57
BIBLIOGRAFIA .....	58
ANEXOS .....	62

## INTRODUCCION

La agricultura ha sido una parte integral de la civilización humana desde hace más de 15.000 años. Desde sus humildes comienzos con la recolección de semillas, raíces y frutos, hasta la era de la digitalización y automatización que presenciaremos hoy, la agricultura ha experimentado una evolución constante y significativa.[1]

El primer gran avance en este sector se produjo con el cambio en el tratamiento de la piedra, lo que llevó a la aparición de las primeras herramientas para la labranza y el procesamiento agrícola. Con el tiempo, las técnicas de riego también evolucionaron, pasando del uso del agua de lluvia a sistemas más sofisticados que permitían desviar el curso de los ríos y controlar la distribución del agua. Luego la era de los metales marcó otro hito importante en la historia de la agricultura, con el perfeccionamiento de las técnicas ya conocidas. Los romanos, por ejemplo, introdujeron técnicas como el barbecho, el abonado, la rotación de cultivos y el drenaje [1]

En los últimos años, hemos presenciado una revolución en la agricultura gracias a los avances tecnológicos. La innovación continua ha permitido incrementar la producción y abastecer a una población mundial en crecimiento. La mecanización del campo ha facilitado su labor y la mejora genética de los cultivos ha propiciado la comercialización de especies resistentes a las sequías o que mejoran sus capacidades nutricionales [2]

Hoy en día, nos encontramos en medio de una nueva revolución agrícola: la era de la agricultura inteligente. Esta incluye sistemas de hardware para control y automatización, software como aplicaciones móviles para asesorar y ayudar en la gestión agrícola, y servicios relacionados con la instalación de dispositivos tecnológicos o su mantenimiento [2]

La agricultura ha sido durante mucho tiempo el pilar de las economías de América Latina. Sin embargo, a pesar de los avances significativos, la región aún enfrenta desafíos considerables en términos de seguridad alimentaria. Según un informe reciente de la ONU, el hambre en América Latina y el Caribe aumentó en 13,8 millones de personas en solo un año(2019-2020), alcanzando un total de 59,7 millones de personas[3]. Además, la prevalencia del hambre en la región se sitúa actualmente en el 9,1%, la más alta de los últimos 15 años [3]

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha publicado un informe que analiza cómo la automatización en la agricultura puede transformar los sistemas agroalimentarios. Según el informe, la automatización puede aumentar la productividad y la resiliencia, mejorar la calidad del producto y la eficiencia en el uso de los recursos, reducir el trabajo humano y mejorar la sostenibilidad ambiental [4]. En el marco de las políticas gubernamentales, los invernaderos y huertos domésticos, también conocidos como huertos familiares o de producción artesanal, se han erigido como un elemento esencial en la generación de alimentos para el mantenimiento de las familias tanto en zonas rurales como urbanas.

Un huerto es una pequeña extensión de terreno donde se cultivan verduras, legumbres y árboles frutales [5]. Por otro lado, un huerto automatizado es una interpretación contemporánea de un huerto que emplea tecnología para plantar, irrigar y erradicar las malas hierbas de forma autónoma.

Los huertos automatizados tienen como meta principal simplificar la supervisión y el cuidado de las actividades agrícolas. La adopción creciente de estas tecnologías en el sector agrícola se atribuye a su habilidad para potenciar la eficacia y la productividad, disminuir los gastos y optimizar la administración de los recursos.

En un huerto inteligente, el microcontrolador desempeña el papel de centro de comando, supervisando varias funciones y procesos. Recopila datos de múltiples sensores, procesa la información y emite comandos para regular el funcionamiento del huerto. Las variables que maneja abarcan aspectos ambientales como la temperatura, la humedad, la luz y otros factores cruciales para el desarrollo de las plantas. La automatización permite una gestión eficaz de estas variables, maximizando la eficiencia del huerto.

Son varias las empresas que brindan servicios de automatización en varios sectores de la agricultura, tanto en invernaderos como en cultivos de campo. Incluso desarrollan plataformas de integración de datos, y otras ofrecen tecnologías específicas como servicio de imágenes con drones, sensores climáticos, sensores del flujo de sabia y otros sensores de plantas y parámetros ambientales. Además, desarrollan sistemas que se pueden personalizar según las necesidades del cliente, ajustando los parámetros operativos desde el terminal en el campo. La progresión de estos parámetros se registra con el

tiempo por el software y se puede representar gráficamente, combinando aquellos parámetros que sean relevantes en cada situación en los gráficos para poder diseñar las estrategias de control.

No obstante, estos sistemas comerciales de monitoreo y control de ambientes regulados tienen un costo considerable que supera los miles de dólares de inversión. Esto implica la adquisición de tecnología foránea cuyo precio es alto para el productor promedio. Nuestro país no está libre de esta circunstancia, pero es verdad que la mayoría de los invernaderos no cuentan con sistemas de control automático. A pesar de esto, a nivel gubernamental se están realizando esfuerzos significativos para incrementar gradualmente el grado de automatización en la agricultura debido a los beneficios que esto aporta al sistema productivo.

En el huerto familiar de la finca El Retiro de la provincia Holguín, municipio Calixto García, se efectúa el riego de forma manual. Para poder realizarlo, una persona debe instalar una manguera a una bomba hidráulica, para así a su apreciación regar las hortalizas. El resultado de este proceso se va reflejado en la capacidad de las acciones del operario, las cuales son definidas mayormente por su experiencia y apreciación visual. Esto conlleva muchas veces a una producción ineficiente y a un consumo excesivo de agua.

Con el objetivo de aumentar la productividad del huerto y de ahorrar la mayor cantidad de agua posible, se ha desarrollado un sistema de automatización que permitirá un mayor control de las principales variables ambientales involucradas. Por esto se plantea como **problema de la Investigación** la necesidad de un mayor rendimiento de la producción agrícola de la finca El Retiro y el ahorro y control del agua.

El **objeto de la investigación** es la automatización en la agricultura orientada a los cultivos de campo, y como **campo de investigación** el control automático del riego en la agricultura orientada a los cultivos de campo.

El **objetivo general** es automatizar el sistema de riego del huerto familiar de la finca El Retiro.

Se plantea la siguiente **idea a defender**: Al automatizar el sistema de riego del huerto familiar de la finca El Retiro se podría incrementar el nivel productivo de sus plantaciones, disminuir el consumo de agua y contribuir así al crecimiento de la economía y al cuidado del medio ambiente.

Métodos y técnicas empleados en la investigación:

Se realizó un análisis de fuentes documentales mediante la revisión de artículos científicos, manuales de usuario de los equipos utilizados, entre otros. Como técnicas y métodos empíricos prima la observación participante, implicando la observación directa de los procesos y actividades relacionados con el huerto, lo que ha permitido obtener una comprensión más profunda de los desafíos y oportunidades que se presentan. Mediante el método histórico lógico se analizó la evolución histórica de la automatización de la agricultura y con el análisis y síntesis se analizaron los componentes de automatización del huerto y su posterior síntesis en una comprensión más completa del proceso. Finalmente, como método experimental se ha realizado la programación.

El aporte de este trabajo radica en que con la implementación del sistema de control de riego en el huerto familiar El Retiro, se logra incrementar la productividad de la finca con un ahorro del agua destinada al riego de los cultivos, y una inversión inicial para su implementación no muy elevada lo que hace posible costear la misma, en estas pequeñas fincas.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: resumen, una introducción general, dos capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el **Capítulo 1** se expone el estudio teórico de este trabajo de diploma, abordando los aspectos generales de los huertos e invernaderos automatizados.

En el **Capítulo 2** se detallan las particularidades del sistema creado, los sensores y actuadores escogidos, la comunicación inalámbrica, la interfaz diseñada para la supervisión, las ventajas que proporciona y su puesta en práctica en un modelo físico.

# **Capítulo 1. La agricultura de precisión, sistemas de riego y su automatización**

## **Introducción**

En el presente capítulo se realiza un breve estudio sobre la agricultura de precisión, haciendo énfasis en la automatización del riego en cultivos de campo. También se expresan las ventajas y desventajas de los cultivos al aire libre. Además, se proporciona un análisis detallado de la plataforma Arduino, destacando sus aspectos más importantes y ofreciendo una visión de lo que este puede ofrecer en términos de hardware, software, aplicaciones, funciones y módulos.

### **1.1. La agricultura de precisión**

La agricultura de precisión es un enfoque moderno que utiliza tecnologías avanzadas para monitorear y optimizar la producción agrícola. Se basa en tres pilares fundamentales: observación, medición y respuesta, permitiendo una comprensión en tiempo real del estado de los cultivos, el suelo y los animales [6]. Estas tecnologías incluyen Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), teledetección, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos. Además, se utilizan técnicas de Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas (IoT), análisis de datos a gran escala (Big Data), geolocalización, automatización y robótica [7].

El objetivo es hacer que el proceso de cultivo sea más preciso, automatizado e inteligente. Esto asegura que los cultivos y el suelo reciban exactamente lo que necesitan para mantener un estado óptimo y aumentar la productividad [8].

#### **1.1.1. Tecnologías modernas utilizadas en la agricultura**

Las tecnologías modernas en la agricultura incluyen los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), la teledetección, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sensores remotos, imágenes de satélites, Maquinaria de conducción autónoma, uso de drones, sensorización en parcelas, mapeo de los suelos, entre otras. A continuación, se darán algunos detalles de estas tecnologías.

**Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)** son sistemas de radionavegación basados en el espacio que proporcionan servicios de localización, navegación y tiempo a usuarios civiles en todo el mundo. En la

agricultura, el GPS se utiliza para la planificación de la siembra, el muestreo del suelo, la guía de tractores y la inspección de cultivos [9].

**La teledetección** es una técnica que permite recopilar datos sobre objetos o áreas desde una distancia sin necesidad de contacto físico. En la agricultura, se utiliza para monitorear y analizar variables como la humedad del suelo y el estado de los cultivos [10].

**Sistema de Información Geográfica (SIG)** es un conjunto integrado de hardware, software y datos geográficos diseñados para recopilar, almacenar, manipular, analizar y presentar información georreferenciada. En la agricultura, los SIG se utilizan para planificar la siembra, muestrear suelos, guiar tractores y explorar cultivos [11].

El empleo de los SIG en ramas como la agricultura, brindan soporte para aumentar la eficiencia de las tareas a realizar en los cultivos. Específicamente en la agricultura cañera, estos permiten analizar diversas fuentes de información geográfica disponibles en la actualidad, como son: las imágenes aéreas y los datos de cosecha de las maquinarias agrícolas; lo que posibilita la obtención de indicadores productivos que sientan las bases para la aplicación de técnicas avanzadas [13].

**Los sensores remotos** son dispositivos que permiten registrar magnitudes físicas o químicas y convertirlas en magnitudes eléctricas sin requerir contacto físico. Pueden detectar variables como temperatura, distancia, fuerza, presión, humedad, entre otras. En la agricultura, se utilizan para monitorear y analizar variables como la humedad del suelo y el estado de los cultivos [12].

**Imágenes de satélite:** Se basa en la utilización de imágenes que ponen de manifiesto las características de los cultivos en espectros no visibles para el ojo humano como lo es el infrarrojo (Figura 1). Con esta información podemos conocer el estrés hídrico de las plantas o el vigor de un cultivo, dar seguimiento temporal de impactos medioambientales como son la quema de bosques, caña de azúcar, contenido de humedad del suelo, etc. Las imágenes de los satélites se pueden visualizar con combinaciones de bandas o con índices espectrales[13] .

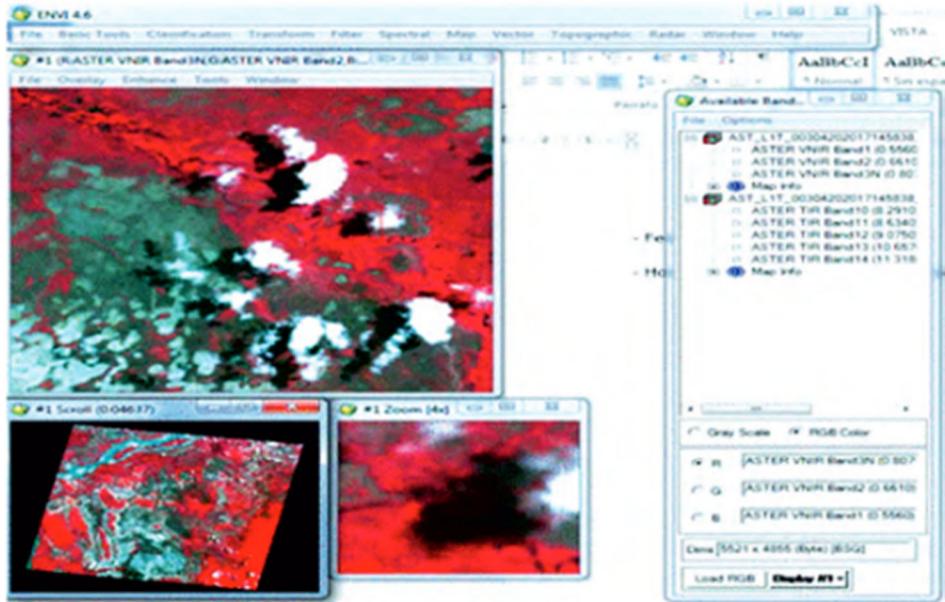


Figura 1. Visualización de imágenes satelitales bajo falso color mediante superposición de bandas [13]

**Maquinaria de conducción autónoma.** Esta maquinaria se conduce por sí sola y está ligada por un GPS (Figura 2) que es capaz de cubrir una parte por completo de una parcela [14]. Entre las características más novedosas de estas maquinarias están: guiado ultra preciso, transmisión de datos en tiempo real, control desde un ordenador portátil o Tablet, reducción de costos, etc.



Figura 2. Equipo de conducción autónoma sobre un tractor

Los equipos agrícolas autónomos se convierten en una valiosa alternativa para mejorar la eficiencia e incrementar la rentabilidad de las explotaciones agrarias. Estos permiten conservar los recursos. Además de su extrema precisión, los equipos agrícolas autónomos también tienen ventajas en cuanto a la utilización de los recursos, recopilación y evaluación de datos. Esto pueden recopilar datos provenientes de una amplia variedad de sensores y son capaces de procesarlos [13].

**Drones.** El empleo de los drones está tomando cada vez más fuerza debido a que cuentan con cámaras multiespectrales y térmicas que permiten obtener datos y características precisas de las explotaciones agrícolas, portar distintos sensores de medición, obtener datos de grandes extensiones desde el aire, no sufren el efecto de las nubes ni hay que hacer tantas correcciones como a las fotos de satélites además que son mucho más baratos que un satélite [15].

**Sensorización en parcelas.** La sensorización en parcelas es una técnica de la agricultura de precisión que utiliza tecnología de la información y la comunicación (TIC) para la gestión de los cultivos. Esta técnica permite obtener una gran cantidad de variables agronómicas que permiten un análisis más preciso de la situación del cultivo con el fin de optimizar al máximo los recursos, ahorrar costes, dosificar con gran precisión las aplicaciones de insumos (agua, fertilizantes, fitosanitarios...), sacar el máximo rendimiento y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. La sensorización se lleva a cabo mediante el uso de sensores, satélites, datos en tiempo real, monitorización, big data, teledetección, drones, GPS, software SIG, imágenes multiespectrales, mapeo de suelos, índices agronómicos, entre otros [16]. Los sensores miden diferentes parámetros como la humedad del suelo, la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento, la presión atmosférica, entre otros [17]. La información recopilada por los sensores se utiliza para tomar decisiones informadas sobre la gestión de los cultivos, lo que permite mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la producción agrícola [16].

**Mapeo de los suelos:** El mapeo del suelo es una técnica que se utiliza para crear mapas digitales de los diferentes tipos de suelo y sus propiedades. Se puede realizar mediante la utilización de dispositivos terrestres y aéreos. Esta técnica nos puede brindar información sobre las distintas características del suelo, así como pH y nutrientes.

### **1.1.2. Ejemplos de automatización agrícola en diferentes partes del mundo**

**La peladora de espárragos de HEPRO en Alemania:** La peladora de espárragos ultracompacta "*spargel to go*" de HEPRO GmbH (Figura 3) ha sido galardonada con el *German Design Award Special 2023* en la categoría *Excellent Product Design Retail* ("Excelente diseño de producto al por menor"). "La máquina peladora de espárragos más pequeña del mundo, pensada para

autoservicio y el pelado de espárragos blancos y verdes, será todo un baluarte emocional para los supermercados durante la temporada de espárragos", afirma Christoph Wolter, director general de HEPRO GmbH [18]. Sin necesidad de cambiar ningún ajuste en la máquina, el consumidor puede confiar en obtener un pelado perfecto. El tercio inferior del espárrago verde, que antes se cortaba, ahora se pela y se vende también, mejorando la sostenibilidad y aumentando los márgenes, prosigue.



Figura 3. Peladora de espárragos ultra compacta de HEPRO GmbH [18]

Con "*spargel to go*", HEPRO GmbH amplía la gama "*to go*" disponible para el sector minorista de alimentación. "La '*spargel to go*', que se une a nuestros superventas actuales, el pelador de piña '*pina to go*', el exprimidor de naranjas '*orange to go*' y el exprimidor de pomelos y granadas '*bigfruit to go*', tendrá su presentación oficial en *Fruit Logística 2024*, en Berlín, donde la mostraremos a visitantes internacionales", afirma Wolter.

**Grupo empresarial de Nueva Zelanda "Plus Group"**: Entrega una diversidad de servicios para la agricultura. Una de las cinco empresas que lo compone es *Robotics Plus*, que desarrolla soluciones en robótica para la agricultura de manera integrada, puesto que estas son testeadas en el campo, gracias a la interacción con las otras compañías del grupo.

Desde hace nueve años *Robotics Plus* se ha concentrado en el desarrollo y la integración de máquinas con avanzados sistemas de detección visual, robótica y automatización, softwares, análisis de datos y máquinas que pueden aprender

por sí mismas. Una de ellas es el Envasador de Manzana, que reduce considerablemente el uso de mano de obra. Si en cuatro líneas manuales de procesamiento se emplean ocho trabajadores, en cuatro automáticas precisa de solo dos personas. Además, estas máquinas son capaces de empaquetar 120 manzanas por minuto, seleccionándolas por color, condición y tamaño, y cuenta con la capacidad para colocar cada una en las bandejas con la orientación adecuada (tallos en dirección horizontal). En *Robotics Plus* calculan que se tarda menos de tres años en recuperar la inversión. “Nos permite enfocarnos más en la calidad de la fruta que en el manejo de personal”, dice al respecto Steve Saunders, director ejecutivo de *Plus Group* [19].

A su vez, la empresa dispone de robots multipropósito para realizar diversas tareas automatizadas en los huertos como cosecha, fumigaciones y estimación de cosecha, entre otras. Para ello desarrolló la Plataforma Modular Móvil Autónoma (AMMP, por sus siglas en inglés) a la que se unen los sistemas de ejecución de tareas. La AMMP es capaz de conducir alrededor de un huerto en forma autónoma, deteniéndose en los lugares apropiados para las tareas encomendadas, de acuerdo a los sistemas que se le hayan agregado a la plataforma, como brazos para cosecha o sistemas de pulverización. De esta manera, se le puede incorporar una máquina cosechadora automática, que tiene la capacidad para recoger tres a cuatro contenedores de kiwi por hora y trabajar 20 horas al día, por lo que puede cargar alrededor de 60 contenedores diarios. Otro de los desarrollos es *QuadDuster*, una máquina que permite la distribución asistida de polen seco en forma constante y uniforme en las plantaciones de kiwi, lo que ayuda a aumentar la polinización de las flores y la eficiencia en la aplicación. El sistema está controlado electrónicamente, medido, rastreado y monitoreado para garantizar la entrega constante de polen, establecer un control de velocidad de los cuatrimotos que llevan a cabo el proceso y realizar el seguimiento por GPS para que el agricultor sepa dónde se encuentran los vehículos.

### **1.1.3. Ejemplos de la automatización de la agricultura en Cuba**

**Sistema de Información Geográfico para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara:** Este sistema fue desarrollado por un grupo de especialistas Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas y de Estación

Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara. En este trabajo consiste en un Sistema de Información Geográfica basado en el software libre para la aplicación de nuevas técnicas de gestión de parcelas en la provincia de Villa Clara. Como resultado de esta investigación se obtuvo una plataforma integradora de la información espacial relacionada con las áreas de cultivo de la caña de azúcar de la provincia, de conjunto con los datos de cosecha proporcionados por las novedosas maquinarias agrícolas que se han venido importando al país desde hace algunos años (Figura 4. Mapa de rendimiento de los campos Figura 4). Con base a esta información y de conjunto con geoalgoritmos presentes en QGIS fue posible la obtención de indicadores productivos que sustenten la toma de decisiones administrativas y la planificación de futuras contiendas [13].

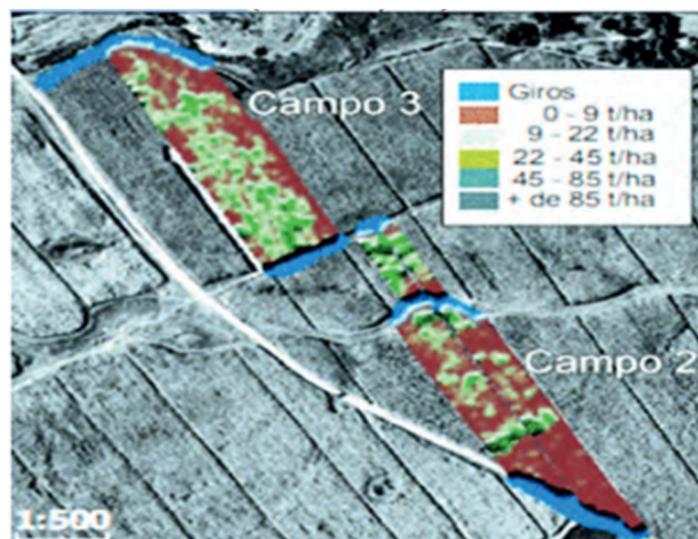


Figura 4. Mapa de rendimiento de los campos [20]

**Sistema automatizado para el estudio y control de los arrozales. SAECA:** El prototipo del sistema “SAECA” es un proyecto de I+D que ejecutado por GEOCUBA-IC, de conjunto con un grupo de centros de investigación y empresas del país y está concebido como una herramienta geo informática de ayuda a los directivos, técnicos y productores de arroz, en el manejo de los campos arroceros. Como sistema informativo territorial brinda información geoespacial actualizada sobre la situación de los arrozales de un territorio dado y sirve de ayuda a directivos y productores para la toma de decisiones, sobre el manejo de problemas relacionados con la infestación con malezas, plagas y enfermedades, así como el control del riego en los campos arroceros [20].

Además, es un sistema integrado, conformado por una componente de captura, procesamiento e interpretación de la información geoespacial a tres niveles (terrestre, aéreo y espacial) y otra componente conformada por un SIG Web para la gestión del cultivo del arroz en la empresa (plataforma geo informática soberana GENESIG). Este prototipo permite disponer de datos georreferenciados relevantes y confiables, para gestionar, facilitar y apoyar la toma de decisiones sobre el estado de las plantaciones y los problemas de irrigación, infestación de malezas, plagas y enfermedades en los arrozales del País, así como hacer estimados de producción potencial y determinar el rendimiento anual promedio [13].

Con el SAECA, se puede rectificar las áreas arroceras, cuantificar las superficies cultivadas y determinar la situación en que se encuentran las plantaciones, así como hacer pronósticos de la cosecha y determinar la producción promedio en las empresas arroceras y a nivel nacional, una vez que se realice la transferencia de la tecnología al Grupo Agroindustrial del Grano y se instale en todas las empresas del País. La investigación y puesta a punto del prototipo se realizó en tres polígonos de investigación, ubicados en el territorio oriental, en los arrozales de la empresa Fernando Echenique de la provincia de Granma [13].



Figura 5. Imagen de color verdadero georreferenciada de la Unidad Empresarial de Base Antonio Maceo, tomada con el satélite Sentinel-2 [13]

**El uso de drones y otros avances tecnológicos para identificar plagas en campos cañeros cubanos:** El uso de aplicaciones de la Agricultura de Precisión con la utilización de drones y otros medios satelitales y de las nuevas tecnologías

de la información para identificar plagas, constituyen aplicaciones realizadas desde al año 2009 en los campos cañeros de la unidad empresarial de base (UEB) Jesús Rabí en Matanzas. También el empleo de esa técnica está presente en varias unidades para la determinación de la humedad de los suelos, la explotación de la maquinaria, el riego y otras actividades. Otros logros los constituyen la evaluación- mediante datos obtenidos por sensores-, de los índices de explotación y principales deficiencias de la maquinaria agrícola en la zafra y en labores de atención agrícola, así como la determinación del potencial azucarero. Asimismo, destaca el diseño de un sistema de control del combustible muy efectivo a partir de los datos reportados por equipos, y de variedades de caña sometidas a la molienda diariamente durante la zafra [20].

## **1.2. Sistemas de riego**

Los cultivos de campo, también conocidos como cultivos al aire libre, se refieren a los cultivos que se realizan directamente en el suelo, sin la protección de un invernadero. Estos cultivos están sujetos a las condiciones climáticas naturales y pueden incluir una gran variedad de plantas como cereales y diversos tipos de vegetales.

Una de las principales variables ambientales influyentes en la producción agrícola es la humedad del suelo, por lo que es necesario una comprensión de los distintos sistemas de riego, así como sus principales características, ventajas y desventajas.

Los sistemas de riego son agrupaciones de elementos que suministran agua a una zona específica de vegetación, facilitando su crecimiento. Estos sistemas son fundamentales para el progreso de la agricultura, en particular en áreas áridas y semiáridas donde la falta de agua puede restringir la producción agrícola. Actualmente, se han creado sistemas de riego más avanzados que utilizan la tecnología para mejorar los cultivos, incrementar su productividad y utilizar el agua de manera eficiente [21].

### **1.2.1. Riego por aspersión**

Este método simula la lluvia al distribuir el agua en forma de pequeñas gotas. Se utiliza en una variedad de terrenos y es especialmente útil en áreas con suelos arenosos que absorben rápidamente el agua. Existen varios tipos de riego por aspersión, incluyendo el riego fijo, semifijo, automático y localizado por

microaspersión. La instalación puede ser moderadamente desafiante, requiriendo la compra de materiales específicos y la realización de un mapa detallado del área de riego [22].

Principales características:

- Alta adaptabilidad a las dosis de riego necesaria
- Se asemeja mucho a la forma en la que las plantas reciben el agua de la naturaleza
- Ofrece una cobertura completa del área de riego
- Los aspersores pueden llevar una o dos boquillas cuyos chorros forman ángulos de 25° a 28° con la horizontal para tener un buen alcance y que no sean demasiado distorsionados por el viento

Los equipos de riego por aspersión están compuestos de todos aquellos elementos que se utilizan para la instalación y correcto funcionamiento de riego a presión en la modalidad de aspersión. Estos incluyen equipos de bombeo, tuberías metálicas o de plástico, electroválvulas, filtros, llaves, reguladores de caudal y los propios aspersores. Existen aspersores de grandes dimensiones llamados pivotes, que riegan un área circular y giran para cubrir toda su zona de riego. Este tipo de riego puede ser muy fácilmente utilizado en terrenos que se encuentran en colinas. También es muy recomendado para muchos tipos de cultivos y plantaciones, siendo muy adecuado para césped o plantas de porte bajo por la uniformidad del riego [22].

Entre las ventajas de este tipo de riego se encuentran:

- Mejor consumo de agua con respecto a otros sistemas como el sistema de riego por surcos o por inundación
- Permite dosificar el agua con gran precisión
- Permite una cobertura del agua total y una mejor distribución
- Fácil automatización
- Poca mano de obra

Desventajas:

- Mayor necesidad de agua en comparación con el sistema de riego por goteo
- Puede empeorar la uniformidad del riego en función del clima, especialmente cuando hay fuertes vientos

- Hay mayor riesgo de que aparezcan plagas y enfermedades en las plantas
- Alto coste de inversión inicial, mantenimiento y funcionamiento (energía) si no está bien diseñado

### **1.2.2. Riego por superficie**

Este método implica la aplicación de agua directamente sobre la superficie del suelo, utilizando la gravedad para distribuir agua a lo largo de un terreno. El agua se recoge automáticamente desde una fuente como un pozo, río, lago o embalse. Se almacena en una estructura que puede ser un lago natural o un depósito construido para este fin. La instalación del sistema de riego depende de la topografía del terreno [23].

Principales características:

- Alta adaptabilidad a las necesidades de riego
- Simula la forma natural en que las plantas reciben agua
- Ofrece una cobertura total del área de riego

Los equipos de riego por superficie incluyen bombas, tuberías, válvulas, filtros y aspersores. Los aspersores de gran tamaño, conocidos como pivotes, riegan un área circular y giran para cubrir toda su zona de riego. Puede ser utilizado en terrenos con colinas. Es recomendado para muchos tipos de cultivos y plantaciones, y es especialmente adecuado para césped o plantas de porte bajo [23].

Ventajas

- Mejor consumo de agua comparado con otros sistemas
- Permite dosificar el agua con precisión
- Fácil automatización
- Requiere poca mano de obra

Desventajas

- Mayor necesidad de agua en comparación con el sistema de riego por goteo
- La uniformidad del riego puede verse afectada por el clima
- Mayor riesgo de plagas y enfermedades en las plantas
- Alto coste inicial y de mantenimiento si no está bien diseñado

### **1.2.3. Riego localizado**

El riego localizado es un sistema que suministra agua directamente a una zona específica del suelo de un cultivo, generalmente cerca de las raíces de las plantas. Este método de riego es altamente eficiente y se utiliza cada vez más en la agricultura y la jardinería [24].

#### Principales Características

- Aplica agua solo en una parte del suelo, utilizando pequeños caudales a baja presión
- Permite un mejor aprovechamiento del agua
- Facilita la fertirrigación
- Reduce el riesgo de enfermedades
- Incrementa la productividad y calidad de los cultivos

Los componentes de una instalación de riego localizado pueden incluir:

- Grupo de bombeo desde balsa, río, pozo
- Depósitos
- Cabezal de riego
- Prefiltrado
- Filtros de arena (cuando sea necesario)
- Equipo de fertirrigación
- Filtros de mallas o anillas

Este tipo de riego es ideal para superficies planas o lugares con orografías más complicadas. Es especialmente recomendable para terrenos más áridos donde el agua es más escasa, también se puede utilizar en terrenos con mucha pendiente. El agua se transporta a presión por tuberías hasta el elemento que da salida al agua, llamado gotero o emisor. El objetivo es concentrar el riego en las regiones del suelo más cercanas a las raíces del agua.

#### Ventajas

- Mejor aprovechamiento del agua
- Facilita la fertirrigación
- Disminución del riesgo de enfermedades
- Reducción de la mano de obra
- Facilita la automatización

#### Desventajas

- Alto coste de instalación y mantenimiento
- Dificultad para dar lavados en profundidad
- Posibilidad de salinización del suelo
- Necesidad de mayor preparación técnica del agricultor

### **1.3. Automatización de huertos familiares**

Para la automatización de huertos familiares es aconsejable un microcontrolador que cumpla con los siguientes requisitos [25], [26]:

- Capacidad de procesamiento: Un microcontrolador debe tener suficiente capacidad de procesamiento para manejar las tareas requeridas. Esto generalmente implica tener un microprocesador de 8 o 16 bits.
- Memoria: Debe tener una pequeña cantidad de RAM para el almacenamiento temporal de datos, así como memoria ROM programable y memoria flash para el almacenamiento a largo plazo[25].
- Entradas/Salidas (E/S): Debe tener E/S paralela y serie para la conexión con varios sensores y actuadores[25].
- Temporizadores y generadores de señales: Estos son necesarios para controlar la temporización de varias tareas, como el riego[25].
- Conversión Analógico-Digital (ADC) y Digital-Analógico (DAC): Estas características son necesarias para interactuar con sensores analógicos y actuadores.
- Compatibilidad con sensores y actuadores: El microcontrolador debe ser compatible con los sensores y actuadores que se utilizarán en el huerto, como los sensores de humedad del suelo y las válvulas de riego.
- Facilidad de programación: Debe ser fácil de programar, preferiblemente con un lenguaje de programación ampliamente utilizado como C/C++.
- Comunicación inalámbrica: La capacidad de comunicarse de forma inalámbrica es una ventaja, ya que permite la monitorización y control remoto del sistema.
- Bajo costo: Dado que se trata de un huerto familiar, el costo es un factor importante a considerar. Arduino es una opción popular debido a su bajo costo.

Debido a las exigencias mencionadas anteriormente, se ha seleccionado la plataforma Arduino para la automatización del huerto familiar en la Finca El

Retiro, ubicada en el municipio Calixto García, provincia de Holguín. La plataforma cuenta con el apoyo activo de los fabricantes de dispositivos electrónicos que producen versiones especiales de varias tarjetas, ampliando la funcionalidad básica del controlador. Estas tarjetas, que pueden ser módulos o bien tarjetas de expansión (también llamadas *Arduino shield* o simplemente *shields*), se utilizan para realizar una variedad de tareas y pueden simplificar significativamente la vida de los usuarios [28].

Para la automatización del riego en cultivos de campo, se requieren tanto sensores como actuadores. Los sensores son necesarios para recoger datos del entorno, como la humedad del suelo y la temperatura del aire [25]. Estos datos se utilizan para tomar decisiones informadas sobre cuándo y cuánto regar los cultivos.

Los actuadores, por otro lado, realizan acciones basadas en los datos recogidos por los sensores. Por ejemplo, una electroválvula puede ser activada para iniciar el riego cuando los sensores detectan que la humedad del suelo ha caído por debajo de un cierto nivel [29]

#### **1.4. Plataforma Arduino**

Arduino, una plataforma de código abierto, ha revolucionado el mundo de la automatización con su fácil uso y accesibilidad. Como microcontrolador, permite a los usuarios programar una variedad de funciones automáticas en dispositivos electrónicos. Desde controlar la iluminación de una habitación hasta operar maquinaria industrial, Arduino ha demostrado ser una herramienta invaluable en la automatización. Su flexibilidad y versatilidad han hecho que sea una opción popular para profesionales y aficionados por igual [30].

Fue desarrollado en 2005 por un equipo de cinco ingenieros: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino y David Mellis en el Instituto de Interacción Diseño Ivrea, Italia. El nombre "Arduino" proviene de un bar en Ivrea, Italia, donde algunos de los fundadores solían reunirse. El proyecto comenzó como una herramienta para estudiantes que no tenían experiencia previa en electrónica o programación, para crear prototipos rápidos y baratos [31].

La relevancia de Arduino en la automatización radica en su simplicidad y flexibilidad. Con Arduino, los usuarios pueden programar una amplia gama de funciones automáticas en dispositivos electrónicos. Esta plataforma ha hecho la

automatización accesible a más personas al hacerla más asequible y fácil de entender [30].

#### 1.4.1. Hardware de Arduino

Existen varios modelos de placas Arduino, cada uno con sus propias características y capacidades. Algunos de los modelos más conocidos incluyen el Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Micro, Arduino Leonardo, Arduino Due, entre otros. Cada modelo tiene su propio conjunto de pines de entrada/salida (E/S), memoria y capacidades de procesamiento [32].

El Arduino Uno R3 (Figura 6) es uno de los modelos más populares y ampliamente utilizados. Es una excelente placa para principiantes debido a su simplicidad y robustez. Cuenta con 14 pines digitales de E/S, 6 pines analógicos, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio [33]. Puede alimentarse a través de una conexión USB o con una fuente de alimentación externa de 6 a 20V. Cuenta con el microcontrolador ATmega328P el cual posee 32KB de memoria FLASH, 2KB de SRAM y 1 KB de EPROM.



Figura 6. Placa de Arduino Uno R3 [33]

Por otro lado, el Arduino Mega (Figura 7) es una placa más avanzada que dispone del microcontrolador ATmega2560, disponiendo de 54 entradas y salidas digitales, de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas de Modulación de Ancho de Pulso (PWM), 4 puertos seriales por hardware (UART), un cristal de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ISP para la programación y un botón de reset.

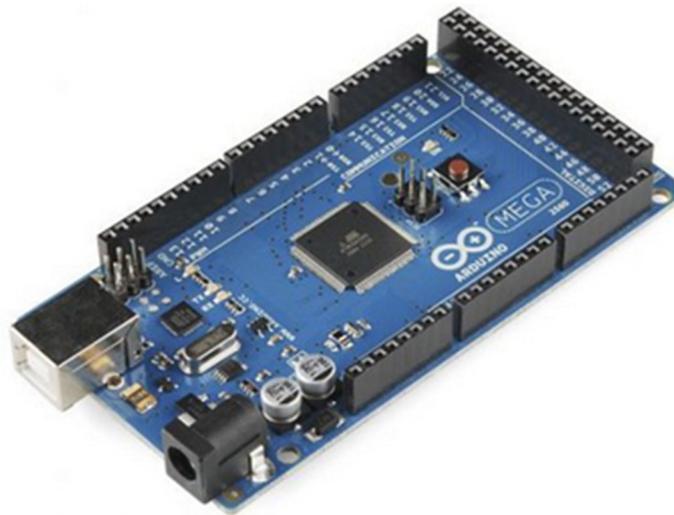


Figura 7. Arduino Mega 2560 [34]

Tanto el Arduino Uno R3 como el Arduino Mega han demostrado ser herramientas valiosas en la automatización debido a su facilidad de uso, flexibilidad y la gran comunidad de apoyo que comparte una amplia gama de bibliotecas y ejemplos [33], [35].

#### 1.4.2. Software de Arduino

El software de Arduino, también conocido como Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), es una aplicación de código abierto que permite escribir código y cargarlo en la placa Arduino. Este es compatible con una amplia gama de sistemas operativos, incluyendo Windows, Mac OS X y Linux [32].

El IDE de Arduino (Figura 8) tiene una interfaz de usuario simple pero poderosa. La parte superior contiene botones para funciones como verificar el código (compilar), cargar el código en la placa Arduino y abrir un nuevo sketch (programa). La parte principal es el editor de texto donde se escribe el código. También hay un área en la parte inferior que muestra los mensajes de salida cuando se verifica o carga el código [36].

El lenguaje de programación utilizado en el IDE de Arduino se basa en C/C++. Sin embargo, ha simplificado varias funciones para hacerlas más accesibles. Por ejemplo, en lugar de tener que configurar manualmente los registros para controlar los pines de entrada/salida, Arduino proporciona funciones simples como *digitalWrite()* y *digitalRead()* [32].

Un programa en Arduino se llama *sketch*. Cada programa tiene al menos dos funciones principales: *setup()* y *loop()*. La función *setup()* se ejecuta una vez cuando la placa se enciende o se reinicia. Se utiliza para inicializar variables, configurar los modos de los pines, iniciar bibliotecas, etc. La función *loop()* se ejecuta repetidamente después de *setup()*. Aquí es donde la mayoría del "trabajo" del programa ocurre [32].

Además del lenguaje básico, Arduino también admite una amplia gama de bibliotecas que proporcionan funcionalidades adicionales, como controlar motores, leer sensores, manejar pantallas LCD, etc. [32].

En resumen, el software y el lenguaje de programación de Arduino son herramientas poderosas que hacen que la programación y la automatización sean accesibles para todos, desde principiantes hasta profesionales.

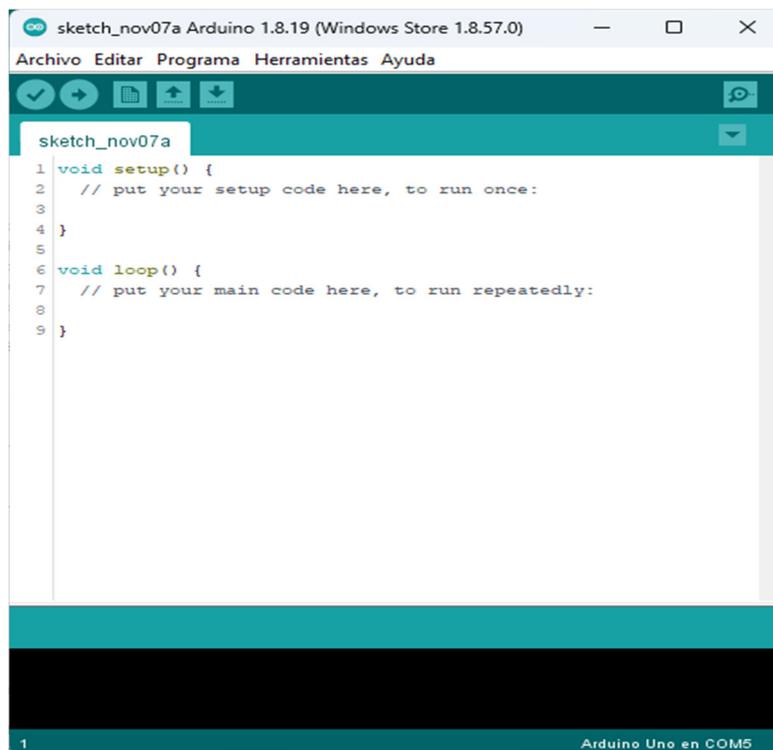


Figura 8. IDE Arduino

### 1.4.3. Arduino en la automatización

Arduino como microcontrolador, permite a los usuarios programar una variedad de funciones automáticas en dispositivos electrónicos [37]. En el contexto de la agricultura, puede ser utilizado para automatizar varios procesos, mejorando la eficiencia y la productividad. Su flexibilidad y accesibilidad lo hacen ideal tanto para pequeños agricultores que buscan mejorar la eficiencia de sus operaciones

como para grandes operaciones agrícolas que buscan optimizar sus procesos a gran escala. Esta plataforma puede estar orientada para sistemas de:

*Detección y control de plagas:* Arduino también puede ser utilizado para detectar y controlar plagas. Por ejemplo, se pueden utilizar sensores de movimiento o cámaras conectadas a una placa Arduino para detectar la presencia de plagas en un campo. Una vez detectada la plaga, se puede activar un sistema para repeler o eliminarlas, como un aspersor o un dispositivo ultrasónico [38].

*Monitoreo y control de riego:* Los sensores de humedad del suelo pueden ser conectados a una placa Arduino para medir la humedad del suelo en tiempo real. Esta información puede ser utilizada para activar automáticamente un sistema de riego cuando la humedad del suelo cae por debajo de un cierto nivel, asegurando que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua [39].

*Monitoreo de condiciones ambientales:* Los sensores ambientales, como los sensores de temperatura y humedad, pueden ser conectados a una placa Arduino para monitorear las condiciones ambientales en un campo. Esta información puede ser utilizada para tomar decisiones informadas sobre cuándo plantar o cosechar, o cuándo aplicar fertilizantes o pesticidas.

*Automatización de cosechas:* En operaciones agrícolas más grandes, Arduino puede ser utilizado para automatizar el proceso de cosecha. Por ejemplo, se pueden utilizar sensores de visión por computadora para identificar cuándo los cultivos están listos para ser cosechados. Luego, se puede activar un robot cosechador para recolectar los cultivos maduros [37].

### **Conclusiones parciales**

En los cultivos de campo resulta muy importante un control adecuado de la humedad de los suelos y lograr esto a través de un riego automatizado redundante en el incremento de la productividad de las parcelas y el ahorro del agua empleada en el riego. En la literatura consultada quedo evidenciado que para la automatización de pequeñas parcelas resulta importante que los medios técnicos utilizados tengan bajos costos y por eso se recomienda el uso de Arduinos para el control.

## **Capítulo 2 . Diseño e implementación de la automatización del control de riego y el control de nivel de agua**

### **Introducción**

En el presente capítulo se realizará un análisis de las principales características del huerto de la finca familiar El Retiro, así como las principales variables ambientales que en este intervienen. Con este estudio se podrá seleccionar la instrumentación con las características adecuadas y proceder al diseño e implementación de la automatización del mismo.

### **2.1.Caracterización del huerto familiar de la finca El Retiro**

En el huerto familiar de la finca El Retiro de la provincia Holguín, municipio Calixto García, tiene una extensión de 7 metros de ancho por 15 de largo, conformado en 5 canteros delimitados por ladrillos, con un metro de ancho cada uno y 15 metros de largo. La distancia entre canteros es de medio metro. Y la fuente de abasto de agua se encuentra a unos 12 metros aproximadamente.

El riego de los canteros se realiza de forma manual y el método de riego utilizado es por aspersión. Para poder realizarlo, un trabajador debe instalar una manguera a una bomba hidráulica abastecida por un estanque, para así en el momento que el considere regar las hortalizas. El resultado de este proceso de riego va a depender de la capacidad en las acciones del operario, las cuales son definidas mayormente por su experiencia y apreciación visual. Esto conlleva muchas veces, a una producción ineficiente y a un consumo excesivo de agua. Para poder efectuar el riego por aspersión, se ha instalado de forma aérea encima de cada cantero, una tubería de PVC de una pulgada de diámetro, en las que se han acoplado 11 micro aspersores (Figura 9).

Para enfrentar la automatización del riego se realizaron algunas pruebas a la instalación existente. En las pruebas experimentales que se efectuaron con la bomba hidráulica disponible, se pudo apreciar que producto a la presión de agua que exigen los aspersores, solo se puede regar un cantero a la vez. Por esta razón se decidió proceder a la selección e instalación de una electroválvula para cada cantero (Figura 10).



Figura 9. Sistema de riego en un cantero



Figura 10. Instalación de las electroválvulas de los canteros

Posteriormente, surge la problemática de que la bomba hidráulica utilizada para el riego, es la misma que se utiliza para el llenado de un tanque elevado de usos varios. Para dar solución a este problema, evitando inversiones monetarias mayores, se decide automatizar el control del riego y el control de nivel del tanque elevado de forma independiente, con distintos microcontroladores y una comunicación inalámbrica entre ellos, pero utilizando la misma bomba hidráulica. Por esta razón se instala otra electroválvula para controlar el paso del agua hacia el tanque elevado, al que se le controlará el nivel de agua.

## **2.2.Diseño del sistema de control**

Un sistema de control se refiere a la interconexión de distintos componentes que proporcionan una respuesta y una acción deseada. El principal objetivo de los sistemas de control y de regulación automática es, a partir del estudio de un proceso, determinar ciertos parámetros a partir de los cuales se realizan ciertas acciones para lograr resultados esperados. En los circuitos de control normalmente se tiene una entrada, un valor de referencia el cual es el valor deseado y a partir de las necesidades se ejecuta una acción esperada y programada.

Para el diseño e implementación del control de riego automático del huerto familiar de la finca El Retiro para agricultura de precisión en el municipio Calixto García de la provincia Holguín, se ha realizado un estudio teniendo en cuenta las principales características de este, por lo que se ha optado por dividir la automatización en dos áreas fundamentales, primeramente, el sistema de control de nivel de agua en el tanque elevado con un Microcontrolador Arduino UNO y como segunda área para el control de riego del huerto con un Microcontrolador Arduino Mega.

En la primera área el Microcontrolador se encarga de recibir la información del sensor de nivel del tanque y los parámetros necesarios para el riego del cultivo específico y toma la decisión en cada momento del llenado del tanque y el riego. En el área de los canteros el Microcontrolador se encarga de ejecutar el riego en dependencia de la información que recibe de los sensores de humedad en cada cantero y la información que recibe del Arduino UNO. Un esquema en bloques general del proceso se muestra en la Figura 11 y en el Anexo 1 se puede encontrar el diagrama P&ID general de la planta.

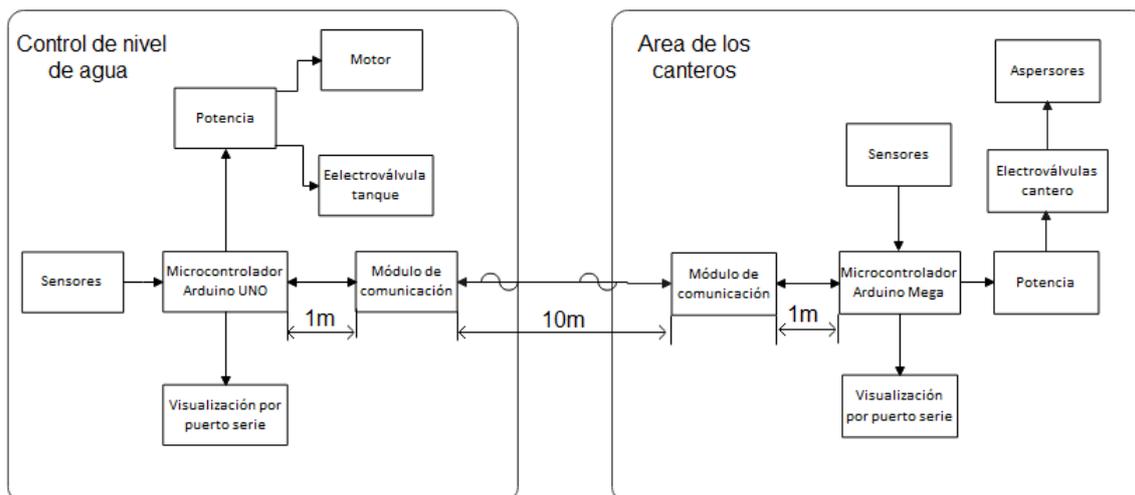


Figura 11. Esquema en bloques general del proceso

Para la implementación de esta propuesta se realizó la selección de la instrumentación, la cual detallaremos a continuación.

### 2.3. Instrumentación seleccionada

La instrumentación es una parte fundamental de la automatización de un huerto familiar, ya que permite controlar y monitorear las condiciones del huerto. En este epígrafe, se detallará la instrumentación utilizada, la cual se divide en dos categorías principales: sensores y actuadores.

Los sensores son dispositivos que detectan y miden diferentes variables, como la temperatura, la humedad y la iluminación, mientras que los actuadores son dispositivos que se utilizan para controlar y regular el suministro de agua y nutrientes a las plantas.

#### 2.3.1. Sensores

Para la automatización del huerto se han seleccionado sensores relativamente económicos y de fácil uso con suficiente información y ejemplificación en diferentes aplicaciones de los mismos. Todos con compatibilidad con la plataforma Arduino y sus diferentes modelos de placas.

##### 2.3.1.1. Sensor de flujo FS400A

Un sensor de flujo o caudalímetro es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido. El caudal es la cantidad de líquido o fluido (volumen) que circula a través de una tubería por unidad de tiempo, por lo general se expresa en: litros por minutos (l/m), litros por hora (l/h), metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h), etc.). Los caudalímetros suelen colocarse directamente en la

tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores/sensores de caudal, medidores de flujo o flujómetros [40].

El sensor de flujo de agua de 1" FS400A (Figura 12) sirve para medir caudal de agua en tuberías de 1" de diámetro. También puede ser empleado con otros líquidos de baja viscosidad, como: bebidas gasificadas, bebidas alcohólicas, combustible, etc. Es un caudalímetro electrónico de tipo turbina. Compatible con sistemas digitales como Arduino, PIC, Raspberry Pi, PLCs. El sensor posee tres cables: rojo (VCC: 5VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall) [40].



Figura 12. Sensor de flujo FS400A [40]

El funcionamiento del sensor es de la siguiente forma: el caudal de agua ingresa al sensor y hace girar una turbina, la turbina está unida a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital de un Arduino o PLC. El sensor de efecto Hall está aislado del agua, de manera que siempre se mantiene seco y seguro. Como el volumen de agua por cada pulso es fijo y de un valor conocido (promedio) podemos contar la cantidad de pulsos por unidad de tiempo (segundo o minuto), luego multiplicar el valor de volumen/pulso por la cantidad de pulsos y así determinar el caudal o flujo de agua [40].

El fabricante recomienda utilizar interrupciones por hardware en el Arduino para detectar o contar los pulsos del sensor, teniendo en cuenta que este no es un sensor de precisión por lo que la orientación, presión del agua y otras condiciones pueden afectar la medición. Se recomienda calibrar el sensor realizando mediciones con volúmenes conocidos. Calibrado puede llegar a tener una precisión de hasta 10% [40].

Formula proporcionada por el fabricante:

$$\text{flujo de agua} \left( \frac{L}{\text{min}} \right) = \text{pulsaciones del sensor (Hz)} / 4.8$$

Este sensor se utiliza en huertos debido a su capacidad para medir con precisión el flujo de agua, lo que es esencial para el riego eficiente. Al monitorear el flujo de agua, los agricultores pueden asegurarse de que sus plantas reciban la cantidad correcta de agua y evitar el desperdicio.

Especificaciones técnicas [40]:

- Modelo: FS400A
- Voltaje de operación: 5V - 24V DC
- Consumo de corriente: 15mA (5V)
- Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)
- Salida: Onda cuadrada pulsante
- Rango de Flujo: 1-60L/min
- Volumen promedio por pulso: 3.47mL
- Pulsos por litro: 280
- Factor de conversión: 4.8
- Rosca externa: 1" NPS
- Presión de trabajo máx.: 1.2MPa (12 bar)
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C
- Material: Plástico color negro

#### **2.3.1.2. Sensor de temperatura LM35**

Para el correcto funcionamiento del sistema propuesto, y para el cuidado de los dispositivos involucrados, se ha utilizado el sensor LM35 en encapsulación TO92 (Figura 13) para la supervisión de la temperatura del motor de la bomba de agua.



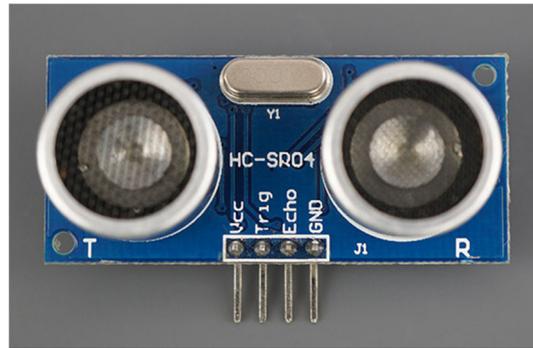


Figura 14. Sensor ultrasónico HC-SR04 [42]

El HC-SR04 es un tipo de sensor ultrasónico que utiliza sonar para determinar la distancia desde el sensor hasta un objeto. Proporciona un rango sobresaliente de detección sin contacto con alta precisión y lecturas estables. Incluye dos módulos ultrasónicos (un transmisor y un receptor). Este sensor se utiliza en una variedad de aplicaciones como medición de dirección y velocidad, alarmas antirrobo, sonar, humidificadores, carga inalámbrica, pruebas no destructivas y ultrasonografía [43].

Este sensor incluye cuatro pines y su configuración se describe a continuación [43]:

- Pin1 (Vcc): Este pin proporciona una fuente de alimentación de +5V al sensor.
- Pin2 (Trigger): Este es un pin de entrada, utilizado para inicializar la medición mediante la transmisión de ondas ultrasónicas manteniendo este pin alto durante 10us.
- Pin3 (Echo): Este es un pin de salida, que se activa durante un período de tiempo específico y es equivalente a la duración del tiempo que tarda la onda en regresar al sensor.
- Pin4 (Ground): Este es un pin de GND utilizado para conectarse al GND del sistema.

Las características del sensor HC-SR04 incluyen las siguientes [43]:

- La fuente de alimentación utilizada para este sensor es de +5V DC.
- Las dimensiones son 45 mm x 20 mm x 15 mm.
- La corriente en reposo utilizada para este sensor es <2mA.
- El ancho del pulso de entrada del disparador es de 10uS.
- La corriente de funcionamiento es de 15mA.
- El ángulo de medición es de 30 grados.

- El rango de distancia es de 2 cm a 800 cm.
- La resolución es de 0.3 cm.
- El ángulo efectivo es <15°.
- El rango de frecuencia de funcionamiento es de 40Hz.
- La precisión es de 3mm.

Este sensor se utiliza para medir de manera precisa la distancia entre él y un objeto. Cuando se suministra la alimentación a este módulo, genera ondas sonoras que viajan por el aire para golpear el objeto deseado. Estas ondas chocan y rebotan en el objeto, para luego ser captadas por el módulo receptor [43]. El pin Trig del sensor debe mantenerse durante 10us al comienzo para iniciar el método de medición. Por lo tanto, este módulo del sensor generará ondas sonoras con una frecuencia de 40.000 Hz aproximadamente cada segundo desde la fuente. Cuando las ondas sonoras regresan, el pin Echo se activará hasta que estas ondas sean recibidas por el receptor [43].

La distancia puede calcularse por medio de la siguiente formula:

$$distancia = \frac{v * t}{2}$$

Donde “t” es el tiempo transcurrido desde el envío del pulso hasta la recepción del eco y “v” es la velocidad del sonido (en centímetros por microsegundos) Se divide por dos porque el sonido tiene dos recorridos, el de ida y el de regreso luego de impactar contra el objeto.

En nuestro caso, este sensor se está utilizando para detectar el nivel de agua en un tanque elevado. Se coloca encima del tanque, debajo de la tapa, de modo que las ondas emitidas por el HC-SR04 reboten en el agua y sean captadas por el módulo receptor. Luego, mediante un microcontrolador previamente programado, se determina el nivel de agua en el tanque de manera precisa y eficiente.

#### **2.3.1.4. Sensor de humedad Catnip v2.7.8**

El Sensor Catnip v2.7.8 (Figura 15) es un dispositivo de alta precisión diseñado para medir la humedad relativa del aire. Con su capacidad para funcionar a largas distancias y una excelente estabilidad, el Catnip v2.7.8 se ha convertido en una de las opciones más populares entre los aficionados y profesionales que buscan una solución precisa para medir la humedad.



Figura 15. Sensor de humedad Catnip v2.7.8 [44]

Catnip v2.7.8 es un sensor de humedad capacitivo que puede ser leído a través del protocolo I2C y además de medir humedad posee detección de luz, de temperatura, restablecimiento de chip, cambio de dirección I2C y modo de sueño profundo [44]

Los sensores de humedad capacitivos funcionan mediante la medición de los cambios en la capacitancia, que es la capacidad de un componente para almacenar una carga eléctrica. Estos sensores poseen dos placas metálicas con un material dieléctrico entre ellas, que puede ser aire, papel, mica, etc. Al cambiar la humedad en el dieléctrico, cambia la capacitancia entre las placas metálicas. Para medir la humedad, se aplica una tensión a las placas y se mide el tiempo que tarda en cargarse. El tiempo de carga varía con la humedad: a mayor humedad, mayor será el tiempo de carga. Esta relación permite al sensor medir la humedad con precisión [45].

Las ventajas de los sensores de humedad capacitivos incluyen:

- Alta precisión y sensibilidad: Son capaces de detectar incluso pequeños cambios en la humedad [45].
- Robustez y durabilidad: Pueden funcionar en una amplia gama de temperaturas y condiciones ambientales [45].
- Detección de una variedad de materiales: Los sensores capacitivos pueden detectar tanto materiales metálicos como no metálicos [45].

Datos técnicos [44]:

- Voltaje de alimentación 3,3 V - 5 V
- Consumo de corriente: 1,1 mA a 5 V, 0,7 mA a 3,3 V en reposo, 14 mA a 5 V, 7,8 mA a 3,3 V al tomar una medición. Cuando se está consultando constantemente el sensor a toda velocidad, el consumo de corriente promedio es de 4,5 mA a 5 V, 2,8 mA a 3,3 V.
- Temperatura de operación de 0°C a 85°C

- Deriva de la lectura de humedad con la temperatura - <10% en todo el rango de temperatura
- Es necesario proporcionar resistencias pull-up para las líneas SCL y SDA.
- La dirección I2C predeterminada es 0x20 (hexadecimal).
- Para leer la humedad del suelo, lea 2 bytes del registro 0.
- Para leer el nivel de luz, inicie la medición escribiendo 3 en la dirección I2C del dispositivo, espere 3 segundos, lea 2 bytes del registro 4.
- Para leer la temperatura, lea 2 bytes del registro 5.
- Para cambiar la dirección I2C del sensor, escriba una nueva dirección (un byte [1...127]) en el registro 1; la nueva dirección tendrá efecto después del reinicio.
- Para reiniciar el sensor, escriba 6 en la dirección I2C del dispositivo.
- No conecte en caliente el sensor al bus I2C activo: el comando de cambio de dirección no tiene protección y esto puede resultar en un número aleatorio como dirección del sensor. Use un sketch de escaneo I2C para averiguar la dirección si el sensor deja de responder con valores adecuados.

En la tabla se muestran los registros disponibles para la lectura y escritura. Donde *GET\_BUSY* devuelve 1 si está analizando alguna medición, y 0 en caso contrario [46].

Tabla 1. Registros de Catnip v2.7.8 [46]

<b>Nombre</b>	<b>Registro</b>	<b>Lectura/Escritura</b>	
<i>GET_CAPACITANCE</i>	0X00	(L)	2
<i>SET_ADDRESS</i>	0X01	(E)	1
<i>GET_ADDRESS</i>	0X02	(L)	1
<i>MEASURE_LIGHT</i>	0X03	(E)	0
<i>GET_LIGHT</i>	0X04	(L)	2
<i>GET_TEMPERATURE</i>	0X05	(L)	2
<i>RESET</i>	0X06	(E)	0
<i>GET_VERSION</i>	0X07	(L)	1
<i>SLEEP</i>	0X08	(E)	0
<i>GET_BUSY</i>	0X09	(L)	1

Tanto el sensor de luz como el de humedad proporcionan valores relativos. Es decir, a más humedad, mayor será la lectura, y a más luz, menor será la lectura. La temperatura se mide mediante el termistor en el cuerpo del sensor. La precisión absoluta de la medición calculada es mejor que el 2%. El valor devuelto está en décimas de grados Celsius, por lo que el valor 252 significaría 25.2°C [44].

#### **2.3.1.5. Reloj de Tiempo Real DS3231**

Un reloj de tiempo real (RTC) es un dispositivo electrónico que permite obtener mediciones de tiempo en las unidades temporales que empleamos de forma cotidiana. El término RTC se creó para diferenciar este tipo de relojes de los relojes electrónicos habituales, que simplemente miden el tiempo contabilizando pulsos de una señal, sin existir relación directa con unidades temporales. Normalmente están formados por un resonador de cristal integrado con la electrónica necesaria para contabilizar de forma correcta el paso del tiempo. Entre sus ventajas se encuentra la posibilidad de reducir el consumo de energía, aportar mayor precisión y liberar a Arduino de tener que realizar la contabilización del tiempo. Además, frecuentemente los RTC incorporan algún tipo de batería que permite mantener el valor del tiempo en caso de pérdida de alimentación [47].

Para el huerto en cuestión se ha seleccionado el RTC DS3231 (Figura 16), el cual incorpora la medición y compensación de la temperatura garantizando una precisión de al menos 2ppm, lo que equivale a un desfase máximo 172ms/día o un segundo cada 6 días. En el mundo real normalmente consiguen precisiones superiores, equivalente a desfases de 1-2 segundos al mes. La comunicación en se realiza a través del bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos y la tensión de alimentación es de 2.3 a 5.5V. Este módulo también incorpora una pequeña EEPROM AT24C32, empleada para almacenar registros y mediciones y una batería CR2032 para mantener el dispositivo en hora al retirar la alimentación [47].



Figura 16. Controlador de Tiempo Real (RTC) DS3231

#### **2.3.1.6. Sensor de nivel de líquidos t1592**

El sensor de nivel de líquidos t1592 (Figura 17) es un sensor analógico consiste en una serie de conductores eléctricos dispuestos en paralelo, en los que se mide la conductividad entre ellos para determinar el nivel de agua principalmente [48]. Este es usado para determinar cuándo está lloviendo, para evitar el riego en estos casos.



Figura 17. Sensor de nivel de líquidos t1592

Este sensor analógico trabaja con un voltaje de 3.3 a 5v, con un consumo menor a 20mA. Posee un área de detección de 40mm x 16mm y un rango de medición de humedad de un 10% a un 90% [48].

#### **2.3.1.7. Sensor de humedad y temperatura Dht11**

El DHT11 (Figura 18) es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Es bastante simple de usar tanto en hardware como software. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos [49].

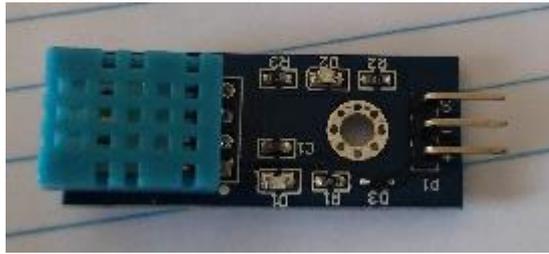


Figura 18. Sensor de humedad y temperatura Dht11

El sensor DHT11 se caracteriza por tener la señal digital calibrada, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. Integra sensores resistivos para la medición de temperatura (termistor) y otro para humedad. Puede medir la humedad en un rango desde 20% hasta 90% y temperatura en el rango de 0°C a 50°C. El protocolo de comunicación que emplea es mediante un único hilo o cable [49].

Especificaciones técnicas [49]:

- Voltaje de operación: 3V - 5V DC
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura:  $\pm 2.0$  °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH
- Precisión de medición de humedad: 4% RH
- Resolución Humedad: 1% RH
- Tiempo de sensado: 2 segundos

### **2.3.2. Actuadores**

Los actuadores son dispositivos que transforman energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control, como por ejemplo una válvula. Son los elementos que influyen directamente en la señal de salida del automatismo, modificando su magnitud según las instrucciones que reciben de la unidad de control.

#### **2.3.2.1. Válvula solenoide Rain Bird 100-DV**

La válvula solenoide es un instrumento que opera por corriente eléctrica, se utiliza para el control del derrame de sustancias como líquidos o gases, ya sea en posición completamente abierta o cerrada. Se ejerce el cierre por medio de la gravedad, presión o al generar la acción sobre un resorte, y se abre por el desplazamiento de un émbolo que opera bajo las propiedades magnéticas de una bobina que se encuentra energizada eléctricamente. Téngase en cuenta que la válvula solenoide no regula el flujo, a pesar de que puede estar completamente abierta o completamente cerrada [50].

Para el sistema se ha seleccionado la electroválvula Rain Bird de una pulgada (Figura 19). Esta presenta las siguientes características:

- Diseño de caudal piloto con doble filtro (diafragma y solenoide) para máxima fiabilidad y resistencia a residuos abrasivos
- Diafragma de presión equilibrada Buna-N con filtro de agua piloto auto limpiante malla 90 (200 micras) y muelle cautivo
- Solenoide encapsulado de baja potencia y consumo eficiente, con émbolo cautivo y filtro de solenoide malla 90 (200 micras)
- Exclusivo mecanismo de control de caudal patentado asistido por presión fácil de girar (solo en modelos DVF).
- Purga externa para limpiar el sistema manualmente y quitar las partículas de suciedad durante la instalación y la puesta en marcha del sistema.
- Purga interna para operación manual en seco.
- Admite solenoide de impulsos TBOS de Rain Bird para utilizar con la mayoría de los controladores a pilas.
- Funciona en aplicaciones de bajo caudal y de riego por goteo cuando el filtro de malla 200 se instala en contracorriente.

Especificaciones:

- Presión: 15 a 150 psi (1,0 a 10,4 bar)
- Modelo 100-DV sin control de caudal: 0,2 a 40 gpm (0,05 a 9,085 m<sup>3</sup>/h; 0,01 a 2,52 l/s). Para caudales inferiores a 3 gpm (0,68 m<sup>3</sup>/h; 0,19 l/s) o cualquier aplicación de riego localizado, use un filtro de malla 200 instalado en la parte anterior.
- Modelo 100-DVF con control de caudal: 0,2 a 40 gpm (0,05 a 9,085 m<sup>3</sup>/h; 0,01 a 2,52 l/s); para caudales inferiores a 3 gpm (0,68 m<sup>3</sup>/h; 0,19 l/s) o

cualquier aplicación de riego localizado, use un filtro de malla 200 instalado en la parte anterior.

- Temperatura del agua: Hasta 110°F (43°C)
- Temperatura ambiente: Hasta 125 °F (52 °C)
- Resistencia de la bobina del solenoide 38 ohmios
- 24 VAC 50/60Hz (ciclos por segundo) requisito de alimentación eléctrica del solenoide: Corriente de entrada 0,450 A; corriente de retención 0,25 A

Dimensiones: Válvulas DV

- Altura: 4½" (11,4 cm)
- Altura (ángulo): 5½" (14 cm)
- Longitud: 4 3/8" (11,1 cm)
- Longitud (ángulo): 3¾" (9,5 cm)
- Longitud (MB): 5¾" (14,6 cm)
- Ancho: 3 1/3" (8,4 cm)
- Dimensiones: Válvulas DVF
- Altura: 5 3/5" (14,2 cm)
- Longitud: 4 3/8" (11,1 cm)
- Longitud (MB): 5¾" (14,6 cm)
- Ancho: 3 1/3" (8,4 cm)



Figura 19. Electrovalvula Rain Bird 100-DV de 1"

### 2.3.2.2. Bomba hidráulica Thebe TP-70JUNIOR

Para bombear el agua necesaria para el riego de las plantas del huerto y para llenar el tanque elevado, se cuenta con la bomba hidráulica de la marca Thebe modelo TP-70JUNIOR (Figura 20). El voltaje de funcionamiento es de 110V de corriente alterna a una frecuencia de 60Hz, lográndose 3450 revoluciones por

minuto (RPM) La altura máxima de succión recomendada es de 8 metros, con 0.55Kw de consumo y 0.75 caballos de fuerza (HP) El caudal máximo es 3.1 metros cúbicos por hora, altura máxima de 40 metros, capacitor de 25  $\mu$ F y brocales de succión de 1" de entrada y 1" de salida.



Figura 20. Bomba hidráulica Thebe TP-70JUNIOR [51]

### **2.3.3. Módulos de comunicación y módulos de potencia**

El sistema propuesto se encuentra dividido físicamente en dos etapas, las cuales se comunicarán inalámbricamente mediante dos módulos bluetooth, permitiendo que por el espacio que las divide puedan circular personas, animales y maquinarias agrícolas sin que el sistema sufra algún daño físico.

#### **2.3.3.1. Módulo bluetooth HC-05**

El módulo HC-05 (Figura 21) es un módulo Bluetooth con protocolo de puerto serie (SPP) fácil de usar, diseñado para una configuración de conexión serial inalámbrica transparente. El módulo Bluetooth V2.0 + EDR está totalmente calificado, velocidad de datos mejorada de 3Mbps con transceptor de radio y banda base de 2.4GHz. Utiliza el sistema Bluetooth CSR Bluecore 04-chip único externo con tecnología CMOS y con función de salto de frecuencia adaptable (AFH). El módulo se puede configurar como maestro o esclavo, permitiendo la comunicación a través del UART del microcontrolador entre dos HC-05, o simplemente emparejarse con una PC o dispositivo móvil [52].



Figura 21. Módulo bluetooth HC-05

Disposición de pines [52]:

- VCC: Alimentación del módulo
- GND: Conexión a tierra
- TXD: Pin de transmisión. Se conecta al pin RXD del MCU
- RXD: Pin de recepción del módulo. A través de este pin RXD se enviarán los comandos al módulo
- KEY: Permite poner el módulo Bluetooth HC-05 en modo de comando AT.
- STATE: Indica si el HC-05 está conectado a un dispositivo Bluetooth o no. Estará en nivel lógico alto cuando esté conectado a un dispositivo Bluetooth. Estará en bajo cuando no esté conectado a ningún dispositivo.

Tabla 2. HC-05 especificaciones generales [52]

Atributo	Valor (Max)
Tipo de Bluetooth	HC-05, V2.0
Voltaje de funcionamiento	3.3~6V
Velocidad de transmisión	3Mbps
Rango de frecuencia	2.4Ghz
Corriente (Consumo)	30mA
Tipo de conexión	Pin header
Protocolo de conexión	SPP
Dimensiones	39.50mm x 16.50mm

### 2.3.3.2. Pantalla Oled 0.91" I2C SSD1306

Las pantallas OLED se destacan por su gran contraste y mínimo consumo de energía, esto es debido a que cada pixel genera su luz y no necesita de retroiluminación (*Backlight*) como los LCD, lo que hace que su consumo de

energía sea mucho menor y aumenta su contraste. La pantalla Oled 0.91" I2C SSD1306 () posee una resolución de 128\*32 píxeles, permitiendo controlar cada píxel individualmente y mostrar tanto texto como gráficos. Posee interfaz de comunicación de tipo I2C, diseñada para trabajar a 5V directamente gracias a su regulador de voltaje en placa y puede trabajar con sistemas de 3.3V o 5V sin necesidad de convertidores [53].

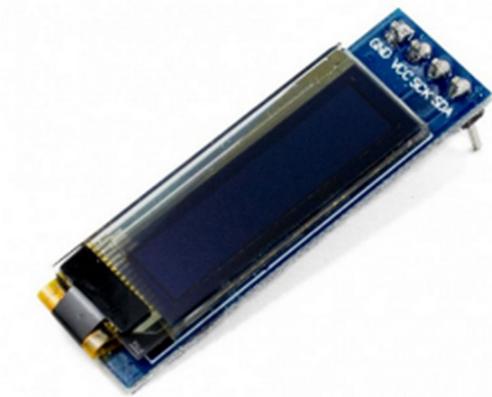


Figura 22. Pantalla Oled 0.91" I2C SSD1306 [53]

Principales características [53]

- Voltaje de operación: 3V - 5.5V DC
- Driver: SSD1306
- Interfaz: I2C
- Resolución: 128\*32 píxeles
- Monocromo: píxeles blancos (fondo negro)
- Ángulo de visión: 160°
- Área visible (*display*): 22.4\*5.8 mm
- Consumo de energía ultra bajo: 0.04W (cuando están encendidos todos los píxeles)
- Temperatura de trabajo: -30°C ~ 70°C
- Dimensiones: 38\*12\*2.6 mm
- Peso: 4 gramos

### 2.3.3.3. Módulos relé

Un módulo relé es una placa conformada por uno o varios relés, en combinación con diferentes semiconductores tales como diodos, resistencias, transistores etc. Un relé (Figura 23) es un dispositivo electromecánico que nos permite la conmutación de una línea eléctrica de media o alta potencia a través de un

circuito electrónico de baja potencia. La principal ventaja es que la línea eléctrica está completamente aislada de la parte electrónica que controla el relé [54]. Es decir, podemos construir un circuito electrónico (un temporizador, una fotocélula, etc.) y, a través de un relé, controlar cualquier tipo de aparato conectado a la red eléctrica.

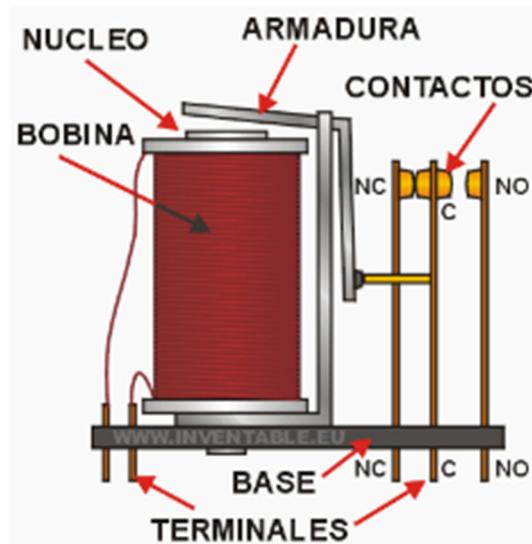


Figura 23. Diseño de un relé típico con descripción de sus partes [54]

Para el control de los circuitos que manejan una potencia incapaz de ser satisfecha por Arduino, en el diseño e implementación del sistema de control automático del llenado de agua de un tanque elevado y el riego de las hortalizas del huerto familiar de la finca El Rincón, se han seleccionado módulos relé de un canal y de 4 canales.

Estos módulos son activados por señal lógica en estado bajo. Los módulos deben de estar alimentados con 12V para la activación de los relés y poseen una potencia máxima de carga de 10 amperes a 230 volt de corriente alterna.



Figura 24. Módulo relé de 4 canales

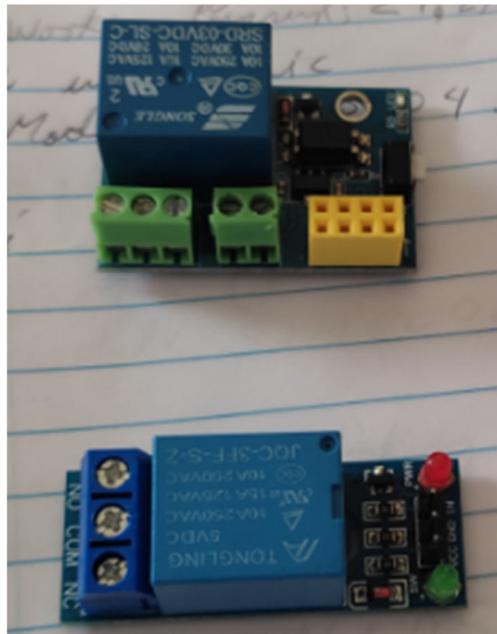


Figura 25. Relés de un canal

#### 2.3.3.4. Contactor electromagnético Homer XMC0-407

Un contactor magnético, al igual que un relé, es un dispositivo electromecánico que nos permite la conmutación de una línea eléctrica de media o alta potencia a través de un circuito electrónico de baja potencia. La principal ventaja es que la línea eléctrica está completamente aislada de la parte electrónica que controla el relé y las altas potencia de carga que soporta [54].

Su funcionamiento se basa en la ley de electromagnetismo de Faraday. Cuando se aplica corriente eléctrica a la bobina del contactor, genera un campo magnético. Este campo magnético atrae a un núcleo de hierro conocido como armadura, lo que provoca que los contactos del contactor se cierren, permitiendo que la corriente fluya a través del sistema [55].

Componentes de un contactor electromagnético [55]:

- Bobina: Elemento principal, genera un campo magnético cuando se le aplica corriente eléctrica. La bobina puede ser de cobre o aluminio, y su tamaño y número de vueltas determinan la cantidad de campo magnético que puede generar.
- Armadura: Este es un componente de hierro que se atrae hacia la bobina cuando se genera el campo magnético. Este movimiento cierra los contactos del contactor.
- Contactos: Permiten o interrumpen el flujo de corriente eléctrica. Hay dos tipos de contactos: fijos y móviles. Los contactos fijos están siempre en su lugar, mientras que los contactos móviles son atraídos por la armadura cuando se aplica corriente a la bobina.
- Resortes: Los resortes ayudan a devolver la armadura y los contactos móviles a su posición original una vez que se interrumpe la corriente a la bobina. Así, los resortes juegan un papel crucial en la apertura de los contactos, interrumpiendo el flujo de corriente.
- Núcleo magnético: Este componente amplifica el campo magnético generado por la bobina. Suele estar hecho de materiales ferromagnéticos que tienen alta permeabilidad magnética.

La principal diferencia entre un relé y un contactor electromagnético, radica en que este último posee mayor capacidad de manejo de potencia de cargas. Por lo que se ha seleccionado el contactor electromagnético Homer XMC0-407 (Figura 26) para poder controlar el encendido de la bomba de agua.



Figura 26. Contactor electromagnético Homer XMC0-407

Características técnicas del Homer XMC0-407 [56]:

- Una variedad de opciones de terminación para requisitos de aplicación específicos.
- Placa de montaje universal: fácil reemplazo de los contactores de la competencia.
- Contactos de servicio pesado aseguran una larga vida eléctrica.
- La lámina EE (conjunto magnético) proporciona un rendimiento óptimo al reducir el consumo de energía.
- El rendimiento no se ve afectado por la posición de montaje.
- Construcción interna libre de polvo.
- SCCR (clasificación de corriente de cortocircuito) 100kA, 600VAC.
- Aislamiento de bobina de Clase F.
- Ofrece una línea completa de contactos auxiliares y micro interruptores.
- Se ofrece dispositivo de interbloqueo mecánico - 2P, 2P/3P, 3P y 4P.
- UL, CUR número de archivo E222994.
- Cumple con ARI 780/790 e IEC/UL 60947-4-1.

## 2.4. Implementación del sistema de control

Debido a que todos los actuadores solo poseen dos estados de funcionamiento (encendido o apagado), se ha optado por el diseño de los sistemas de Control ON-OFF con histéresis.

El tipo de control ON-OFF con histéresis, integra un retardo al cambio de la señal disminuyendo las conmutaciones, aumentando la vida útil de los componentes y dispositivos utilizados. La salida del controlador ON-OFF, solo puede cambiar entre dos valores, similar a un interruptor, es decir, solo puede estar apagado o encendido. El controlador no tiene la capacidad de producir un valor exacto en la variable que está siendo controlada para un valor de referencia dado ya que produce una continua desviación del valor deseado o de referencia.

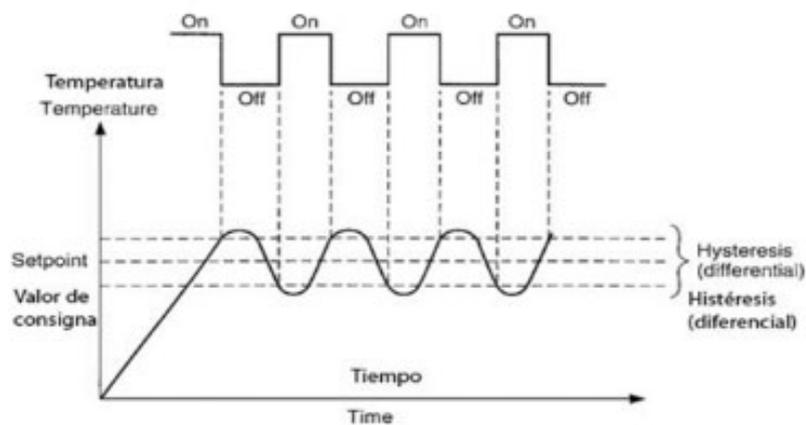


Figura 27. Control ON-OFF con histéresis

Para la implementación de los controles en ambas áreas fue necesaria la construcción del panel de control con los elementos necesarios para la interconexión de los actuadores y el visualizador. Ver Anexo 2 y Anexo 3.

### 2.4.1. Control de nivel de agua en el tanque

Para el control de nivel de agua en el tanque se utilizará como microcontrolador al Arduino Uno. En el programa principal primeramente se realizará una lectura de los sensores, para luego guardar los datos en los registros y mostrarlos en pantalla. En caso de que el nivel del tanque sea inferior del 30%, se revisa si en ese momento se está regando, para si la bomba hidráulica está en desuso, proceder a llenar el tanque. El flujo de este proceso se puede apreciar en el diagrama de la Figura 28.

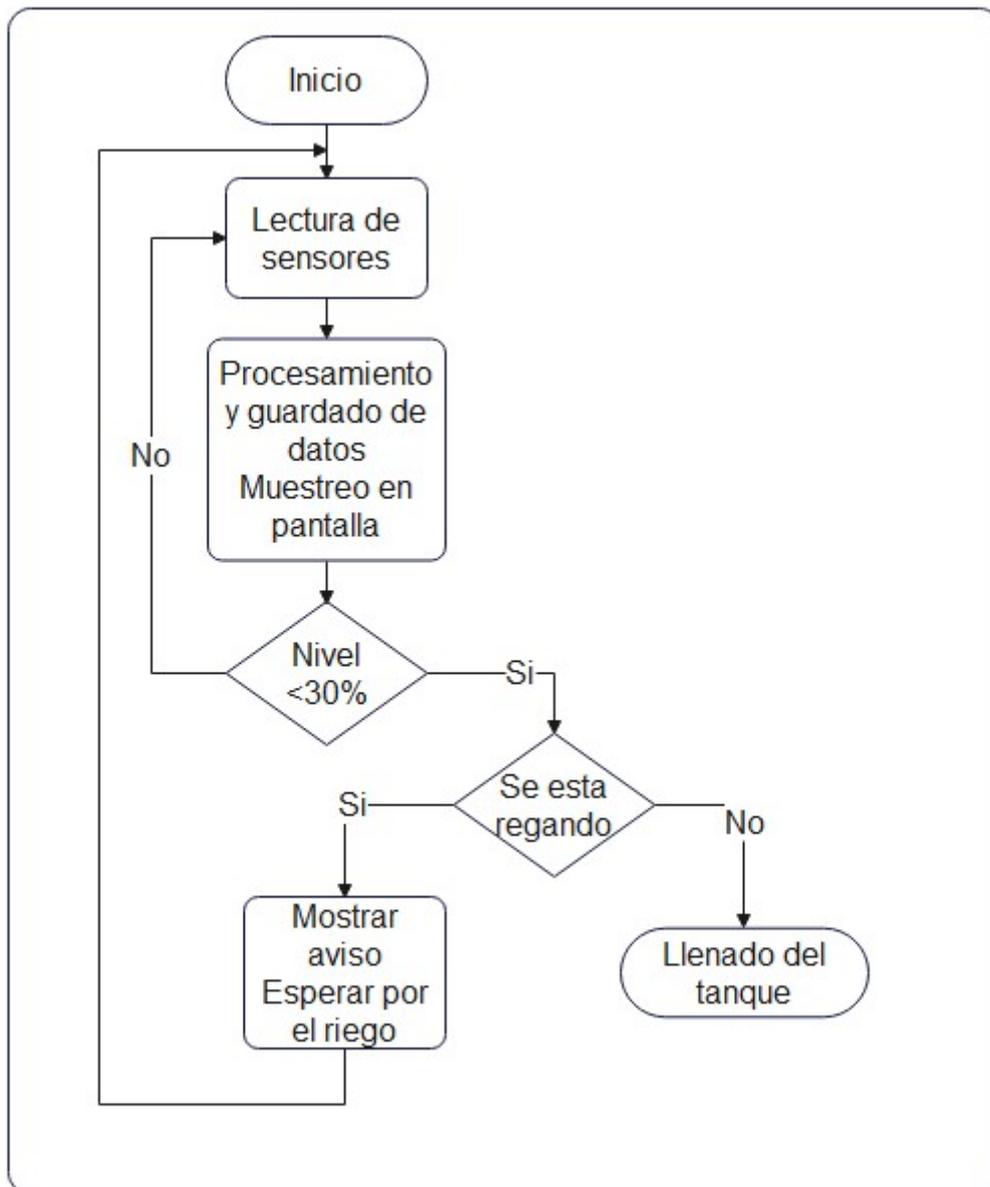


Figura 28. Flujo del programa principal de Arduino Uno

Una vez que el microcontrolador procede a llenar el tanque, se cerraran las 5 electroválvulas del cantero y se abrirá la electroválvula que controla el paso del agua de la bomba hidráulica hacia el tanque elevado para luego, encender el motor de la bomba. Luego de encendido se esperarán 5 segundos para así dar tiempo que el flujo del agua ponga en funcionamiento el sensor FS400A.

Acto seguido se realiza una lectura de los sensores (de temperatura del motor, nivel del tanque y de flujo) para determinar si se cumplen las condiciones necesarias para que el motor permanezca encendido. En caso de que las condiciones se cumplan, se permanecerá bombeando hasta que el nivel del tanque sea igual o mayor al 95% de la capacidad máxima del mismo. En caso

de no cumplirse las condiciones necesarias el motor se apagará y se mostrará un mensaje de error. Ver Figura 29.

Condiciones necesarias para que el motor permanezca encendido:

- Temperatura del motor entre 20 y 85 °C
- Nivel de agua en el tanque entre 0 y 99%
- Flujo de agua mayor de 30 litros por minuto
- Que solo se encuentre una sola electroválvula abierta

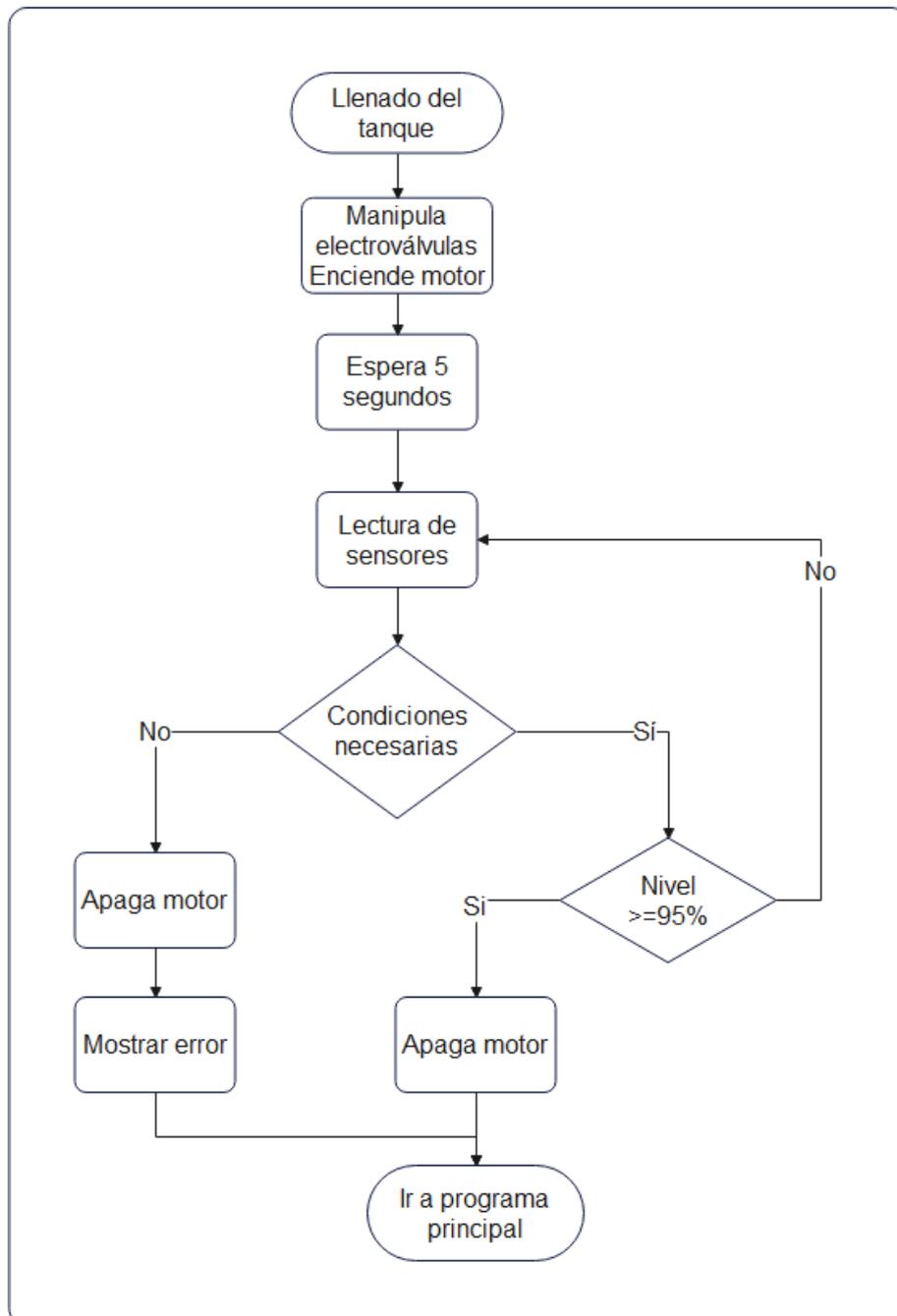


Figura 29. Flujo del proceso de control de nivel

#### **2.4.2. Automatización del riego**

Para el control del riego del huerto en cuestión, se ha determinado que como valor de humedad predefinido sea de un 60% a un 80% de humedad relativa del suelo, valor aconsejable para las plantaciones de lechuga. No obstante, el controlador tendrá asignado posiciones de memoria para que se le introduzcan los parámetros de riego por cada día de la semana tales como el horario y/o irradiancia solar, tiempo de riego y humedad relativa del suelo. Este sistema permitirá que el usuario pueda configurar el controlador para que pueda sembrar diferentes hortalizas o que, mediante el estudio de los datos obtenidos por el mismo sistema, pueda modificar los parámetros del riego para así lograr un mejor rendimiento.

El microcontrolador Arduino Mega primeramente se realizará una lectura de los sensores incorporados y, luego de su procesamiento, se almacenarán en los registros internos. Acto seguido se realiza un test de conexión con el Arduino Uno. En caso de que no exista conexión entre ellos, se enviarán los datos por puerto serie y se realizará una espera de cinco minutos. Si existiera conexión entre los microcontroladores, se procede a realizar una petición de los datos obtenidos por el Arduino Uno, los cuales se escribirán en los registros de Arduino Mega y se enviarán por puerto serie. Si la humedad es menor que la mínima, se procede a realizar el proceso de control de humedad, y si esta se mantiene en los rangos adecuados, se realiza una espera de cinco minutos y se retorna a la posición inicial del programa (Figura 30).

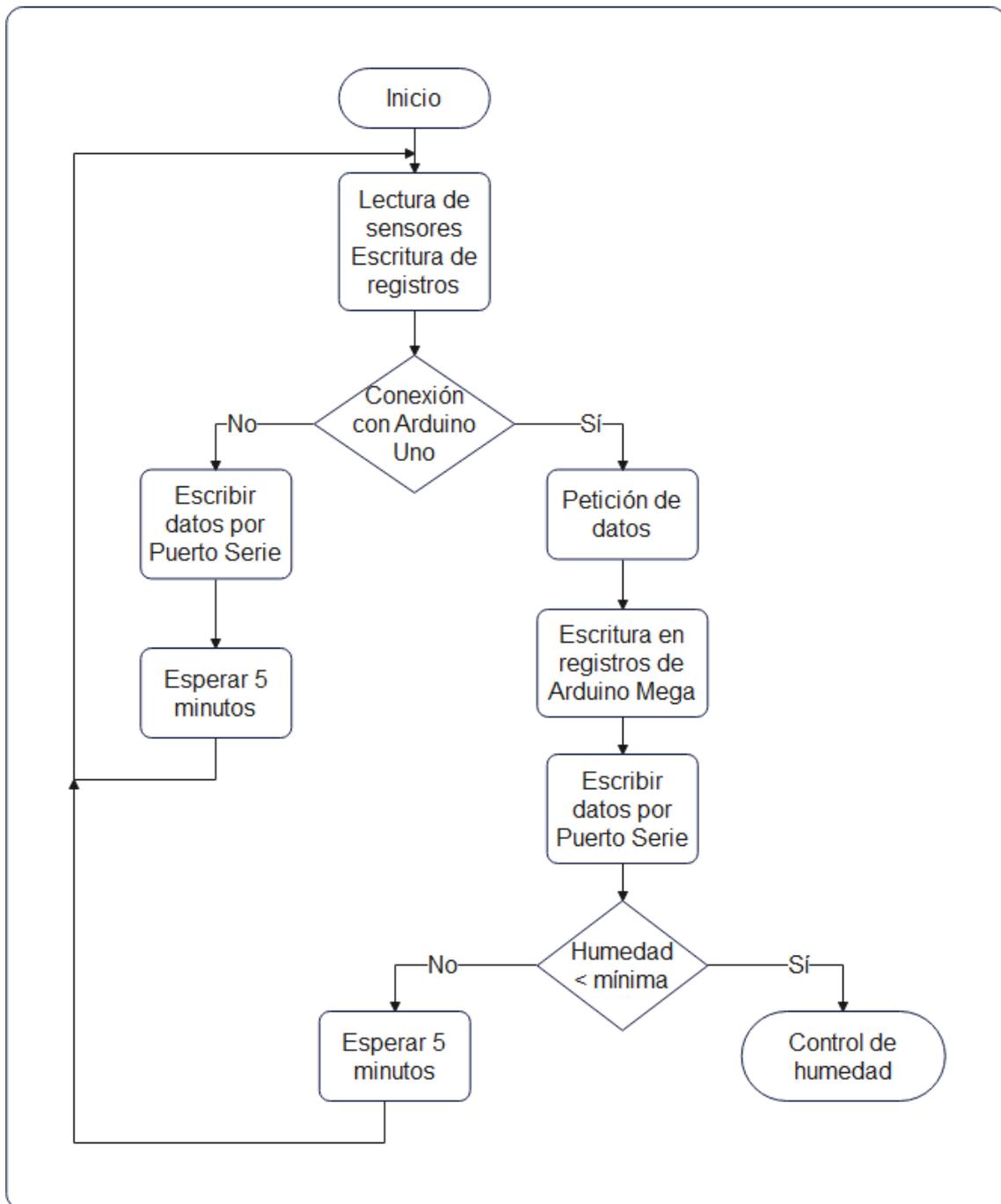


Figura 30. Flujo principal de Arduino Mega

Una vez ejecutada la orden para el control de humedad, se procederá una lectura de los diferentes sensores y registros. En los registros se encontrarán los parámetros para el riego, las que se analizan como condiciones necesarias para poder regar. Estos registros pueden ser modificados por el operario. En caso de que estos parámetros se cumplan, se procede a regar un cantero a la vez hasta que la humedad iguale o supere al 95% de la humedad prefijada. Cuando se

riegue así el quinto cantero, se realizará nuevamente el riego, pero esta vez hasta alcanzar el 100% de la humedad configurada por el operario y guardada en los registros. Una vez que la humedad del suelo en los canteros sea igualada a la humedad deseada, se detendrá el riego y se retorna al inicio del programa (ver Figura 31)

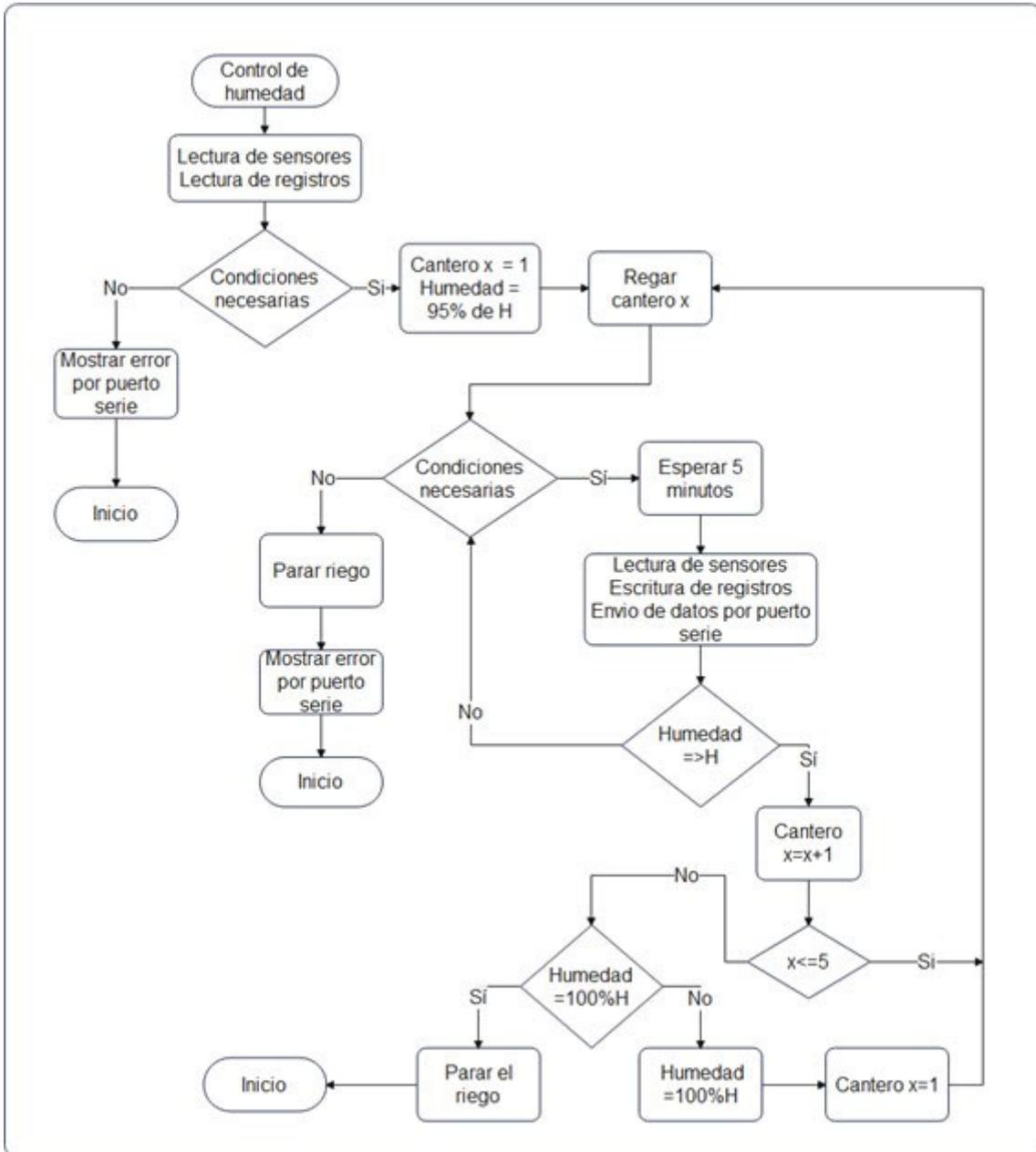


Figura 31. Diagrama de flujo del control de humedad del suelo

Los parámetros para el riego (también llamados condiciones necesarias), son los siguientes:

- Deben cumplirse los requisitos de horario dispuesto por el operario. Para lograrlo se leen los registros pertinentes del Arduino Mega, y mediante la información brindada por el reloj de tiempo real, realizar las comparaciones.
- Mientras este lloviendo no se realizará el riego.
- Debe existir conexión entre los controladores Arduino Uno y Arduino Mega.
- No se debe estar efectuando el llenado de agua del tanque elevado.

Luego de definido los algoritmos a seguir en ambos microcontroladores se realizó la programación en el IDE de Arduino. Fue necesario utilizar la librería AltSoftSerial para poder utilizar dispositivos por puerto serie sin necesidad de desactivar las interrupciones, ya que el sensor de flujo seleccionado utiliza la interrupción externa (Ver Anexo 4).

## 2.5. Visualización de datos

Se ha creado un panel para el control y la visualización de los datos obtenidos por el microcontrolador Arduino Uno. Cuenta con la pantalla oled SSD1306. En ella se visualizarán en tiempo real los datos adquiridos por el controlador mediante los sensores y módulos. En la pantalla solo se pueden mostrar dos líneas a la vez, por lo que se optó por utilizar un botón pulsador (el de color verde), el cual al ser pulsado provocará que se visualicen los demás datos como se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Visualización de datos del controlador Arduino UNO

El panel cuenta con un interruptor deslizante, con el que se podrá cambiar de modo automático a manual y viceversa. Cuando se encuentre en modo manual, bomba hidráulica podrá ser accionada manualmente desde un botón pulsador y esta será energizada forzosamente y, debido al peligro que puede ocasionar

dicha acción, se encenderá un led rojo como alerta de precaución o peligro. También se dispone de un led azul para siempre que se encienda la bomba hidráulica y otro para cuando se accione la electroválvula que controla el paso de agua al tanque elevado.

Para lograr la conmutación de modo manual y automático se reemplaza la señal de control proveniente de Arduino hacia el módulo de potencia, por una señal que se emitirá desde un pulsador gracias a resistencias *pull-up*.

Además, se ha implementado en el Arduino Mega el envío de datos mediante el puerto serie cada 5 minutos, por lo que será posible visualizarlo en un dispositivo que permita esta comunicación, así como una computadora personal (Ver Figura 33).

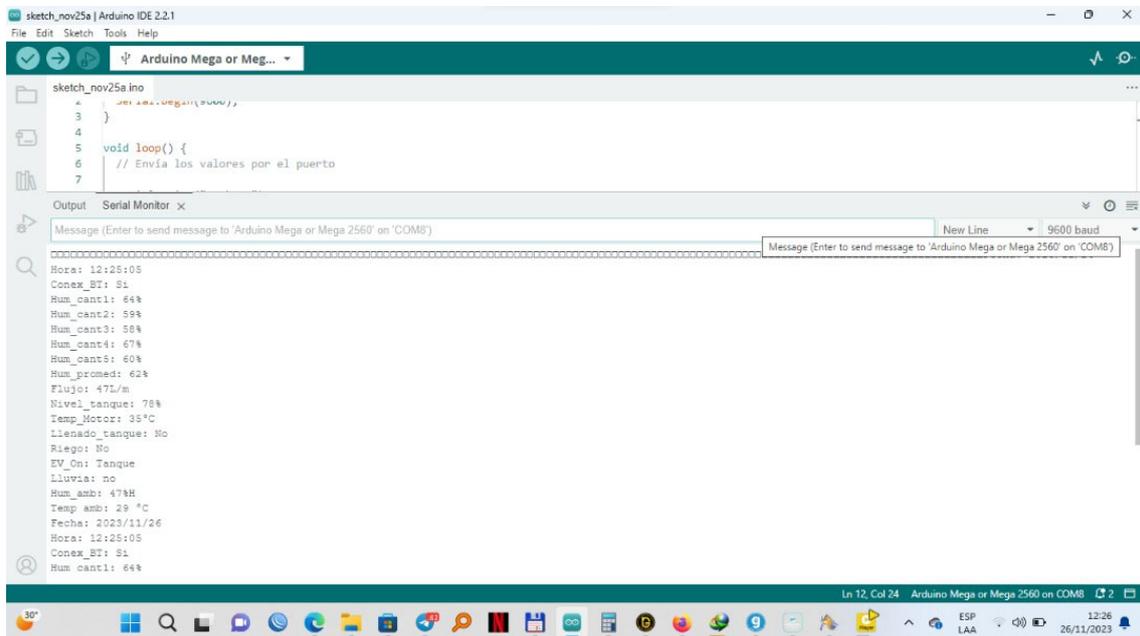


Figura 33. Visualización en la PC de la información recogida por el Arduino Mega

## 2.6. Valoración económica

Con el objetivo de analizar la viabilidad financiera del proyecto se realiza un estudio de los costos y beneficios. En la Tabla 3 se muestran los precios en USD de cada componente y material en el que se ha invertido en el proyecto.

Tabla 3. Precio en USD de los componentes y materiales del proyecto

Componente	Cantidad	Precio c/u (USD)	Total
Sensor de flujo FS400A	1	13.66	13.66
Sensor de temperatura LM35	1	0.42	0.42

Sensor ultrasónico HC-SR04	1	2.50	2.50
Sensor de humedad Catnip v2.7.8	5	15.00	75.00
Reloj de Tiempo Real DS3231	1	4.50	4.50
Sensor de nivel de líquidos t1592	1	2.24	2.24
Válvula solenoide Rain Bird	6	22.54	135.24
Bomba hidráulica Thebe TP-70JUNIOR	1	75.00	75.00
Módulo bluetooth HC-05	2	9.99	19.98
Módulos relé simple	2	2.00	4.00
Módulo relé cuádruple	1	7.99	7.99
Contactador electromagnético Homer XMC0-407	1	34.50	34.50
Metros de tubería de PBC	150	0.50	75
Precio total de uniones PBC	20	1.50	30
Micro aspersores	55	0.10	5.5
Llave de paso	3	3.20	9.60
<b>Total</b>			<b>495.13</b>

El precio total reflejado en la tabla anterior (Tabla 3) es referente al precio de la instrumentación en tiendas extranjeras, por lo que al precio final de los productos se debe sumar los costos de importación, que pueden variar según por la vía que se realice. Tampoco se ha tenido en cuenta los costos de la mano de obra, debido a que se ha realizado mayormente por los beneficiados del huerto.

Para hacer más accesible la automatización, se ha recurrido a la instrumentación más asequible del mercado y de menor costo. También se ha trabajado con materiales reciclados, aportando al cuidado del medio ambiente y a la factibilidad económica del proyecto. Aun así, la inversión que representa es muy elevada en comparación con el poder adquisitivo de la mayoría de la población cubana. No obstante, se debe tener en cuenta que esta es una inversión inicial, que se puede amortizar con el aumento de la producción en las cosechas, el ahorro del agua y el aumento de la calidad de vida de los beneficiados.

### **Conclusiones parciales**

Con la realización de este trabajo se ejecutó un primer intento de automatizar el riego en un huerto familiar, para esto se realizaron las modificaciones necesarias en el huerto, la selección de la instrumentación, su instalación y la programación de los microcontroladores en ambas áreas que por diseño fueron definidas.

También se realizó la valoración económica de la inversión realizada, sin poder aún, por el tiempo de realización del trabajo, cuantificar el incremento de la productividad que representa la introducción de esta tecnología.

## **CONCLUSIONES**

Con la realización de este trabajo se logra el control automatizado del riego del huerto familiar de la finca El Retiro. Se estudia el proceso de control de humedad y los requisitos para su automatización, partiendo de las necesidades de la planta y la elección de la instrumentación adecuada para el mismo. Se logra la comunicación inalámbrica entre los diferentes controladores, evitando así posibles daños en las instalaciones debido al paso de los diferentes animales por el terreno y se realiza el control automático del proceso de llenado de un tanque elevado. Se minimizaron gastos gracias al diseño que permite el uso multifuncional de la bomba hidráulica y se logra el monitoreo de las diferentes variables ambientales que intervienen en el proceso. Se instala un sensor de flujo que permite medir el consumo de agua, considerando que este puede llegar a ser considerablemente menor, sometiendo así a menor esfuerzo a la bomba hidráulica, alargando su vida útil, disminuyendo el consumo energético y contribuyendo con el medio ambiente.

Se realizó la valoración económica de la inversión realizada, sin poder aún, por el tiempo de realización del trabajo, cuantificar el incremento de la productividad que representa la introducción de esta tecnología, ni la reducción del consumo de agua.

## RECOMENDACIONES

1. Sustituir la comunicación inalámbrica bluetooth entre Arduino Uno y Arduino Mega por comunicación inalámbrica Wi-Fi para mayor estabilidad y rapidez del sistema.
2. Se recomienda implementar un módulo GSM para el envío de datos vía internet, aprovechando las características del presente, debido a que se está realizando el envío de todos los datos por puerto serie, por lo que solo se debe implementar un módulo de comunicación y redirigir los datos.
3. Alojarse los datos adquiridos en un servidor, para mediante inteligencia artificial realizar un estudio con el fin de optimizar al máximo el sistema.
4. Realizar una aplicación móvil para el control del sistema por internet.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Morera, «La evolución de la agricultura: todos los cambios hasta la digitalización», RawData. Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://agrawdata.com/evolucion-de-la-agricultura-historia-de-cambios-hacia-digitalizacion/>
- [2] «Innovaciones en la agricultura: avances tecnológicos en el sector», Envira. Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://enviraiot.es/innovaciones-en-la-agricultura-avances-tecnologicos/>
- [3] «Nuevo informe de la ONU: el hambre en América Latina y el Caribe aumentó en 13,8 millones de personas en solo un año». Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.unicef.org/lac/comunicados-prensa/nuevo-informe-de-la-onu-el-hambre-en-america-latina-y-el-caribe-aumento>
- [4] «Informe de la FAO analiza cómo la automatización en la agricultura contribuye a transformar los sistemas agroalimentarios | Naciones Unidas en México». Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mexico.un.org/es/205841-informe-de-la-fao-analiza-c%C3%B3mo-la-automatizaci%C3%B3n-en-la-agricultura-contribuye-transformar>, <https://mexico.un.org/es/205841-informe-de-la-fao-analiza-c%C3%B3mo-la-automatizaci%C3%B3n-en-la-agricultura-contribuye-transformar>
- [5] «¿Qué es un huerto? | Belle-Eco». Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://belle-eco.com/que-es-un-huerto/>
- [6] S. M. Pedersen y K. M. Lind, Eds., *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. en *Progress in Precision Agriculture*. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-68715-5.
- [7] N. Zhang, M. Wang, y N. Wang, «Precision agriculture—a worldwide overview», *Comput. Electron. Agric.*, vol. 36, n.º 2, pp. 113-132, nov. 2002, doi: 10.1016/S0168-1699(02)00096-0.
- [8] J. V. Stafford, «Implementing Precision Agriculture in the 21st Century», *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 76, n.º 3, pp. 267-275, jul. 2000, doi: 10.1006/jaer.2000.0577.
- [9] «Precision Agriculture and Food Security | Science». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1183899>
- [10] «Remote Sensing | Free Full-Text | Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/5/2/949>
- [11] «Precision Agriculture and Sustainability | Precision Agriculture». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
- [12] F. J. Pierce y P. Nowak, «Aspects of Precision Agriculture», en *Advances in Agronomy*, vol. 67, D. L. Sparks, Ed., Academic Press, 1999, pp. 1-85. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60513-1.
- [13] R. Ríos Hernández, «La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual», *Ing. Agríc.*, vol. 11, n.º 1, ene. 2021, Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ojs.edicionescervantes.com/index.php/IAgric/article/view/1347>
- [14] M. L. Marote, «Agricultura de Precisión», 2010, Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.palermo.edu:8443/xmlui/handle/10226/1373>
- [15] V. A. B. M, J. M. T, y D. F. A. V, «Uso de drones para el analisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión», *Limentech Cienc. Technol. Aliment.*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, 2015, doi: 10.24054/limentech.v13i1.1600.
- [16] «¿Cómo funciona la agricultura de precisión? - Agromática». Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.agromatica.es/agricultura-de-precision-introduccion/>

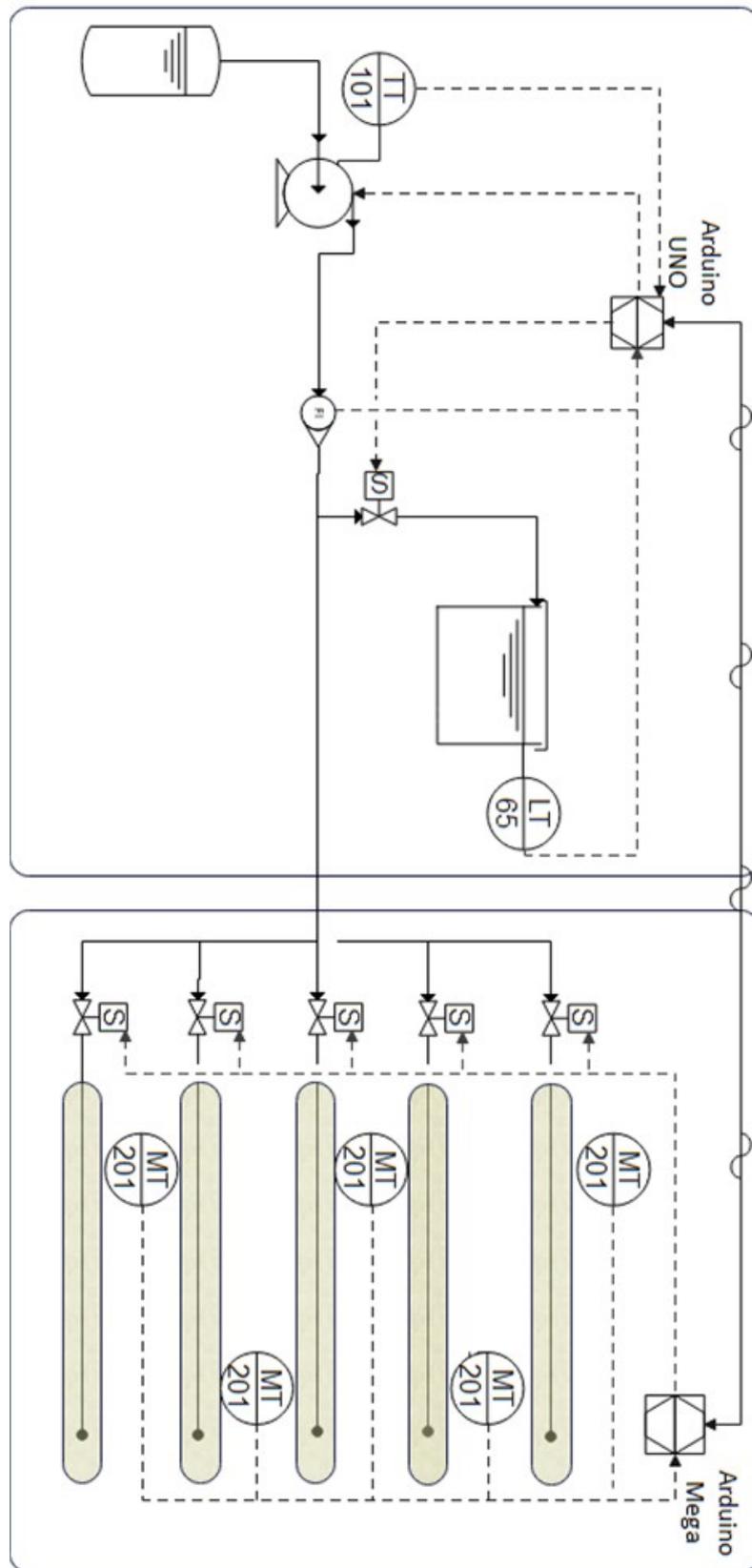
- [17] redaccion iAgua, «Sondas de humedad del suelo para optimizar la gestión digital del riego en una C. Regantes», iAgua. Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/francesc-ferrer-alegre/sondas-humedad-suelo-optimizar-gestion-digital-riego-c-regantes>
- [18] «La peladora de espárragos de HEPRO gana el German Design Award». Accedido: 19 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.freshplaza.es/article/9574300/la-peladora-de-esparragos-de-hepro-gana-el-german-design-award/>
- [19] RedAgricola, «El avance de la automatización en la agricultura», Redagrícola. Accedido: 19 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://redagricola.com/el-avance-de-la-automatizacion-en-la-agricultura/>
- [20] J. H. Puebla, M. D. L. A. Osorio, F. G. Robaina, Yunier Díaz Pérez, y Revista Ingeniería Agrícola, «Grain sorghum (Sorghum vulgare L. Monech) response to irrigation time and nitrogen fertilizer during two plantation dates», 2016, doi: 10.13140/RG.2.2.28326.32325.
- [21] «Tipos de sistemas de riego: características - Fundación Aquae». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-riego/>
- [22] «Qué es el riego por aspersión, cómo funciona y cuáles son sus ventajas - Mundoriego». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mundoriego.es/que-es-el-riego-por-aspersion-como-funciona-y-cuales-son-sus-ventajas/>
- [23] «Riego De Superficie: [Concepto, Ventajas, Desventajas Y Requerimientos]». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.sembrar100.com/riego-de-superficie/>
- [24] «Riego localizado». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/ca/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/riego-localizado.aspx>
- [25] S. López Cortés, «Diseño e implementación de un sistema automático para la gestión de un micro huerto urbano», ene. 2021, Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/159583>
- [26] «Tipos De Microcontroladores Y Sus Aplicaciones - Electrositio». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://electrositio.com/tipos-de-microcontroladores-y-sus-aplicaciones/?expand\\_article=1](https://electrositio.com/tipos-de-microcontroladores-y-sus-aplicaciones/?expand_article=1)
- [27] «Los microcontroladores inalámbricos hacen posible el hogar inteligente | DigiKey». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/articles/wireless-microcontrollers-enable-the-smart-home>
- [28] «🔌 Módulos y Shields para Arduino», Proyectos con Arduino. Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://proyectosconarduino.com/modulos/>
- [29] «Sistema de riego automatizado con Arduino». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.apuntesdeelectronica.com/microcontroladores/sistema-de-riego-automatizado.htm>
- [30] «Arduino - Home». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/>
- [31] Y. Fernández, «Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno», Xataka. Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- [32] «Software | Arduino». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/software>
- [33] «UNO R3 | Arduino Documentation». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>

- [34]? «Arduino Mega 2560 Características, Especificaciones», Proyecto Arduino. Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>
- [35] «Arduino Mega 2560 Rev3 — Arduino Online Shop». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?selectedStore=us>
- [36] admin, «Descargar e Instalar Arduino IDE 2.0 en Windows 10 - Última versión ( 2023 )», Proyectos con Arduino. Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://proyectosconarduino.com/curso/descargar-e-instalar-arduino-ide-2-0-en-windows-10/>
- [37] «▷ Agricultura automatizada y robótica agrícola ✓ Ventajas y Desventajas». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.edsrobotics.com/blog/agricultura-automatizada-y-robotica-agricola/>
- [38] «¿Qué es la automatización agrícola?» Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb9479es/online/sofa-2022/agricultural-automation-technological-evolution.html>
- [39] «▷ IoT en agricultura. Hacia los cultivos inteligentes - IAT». Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://iat.es/tecnologias/internet-de-las-cosas-iot/agricultura/>
- [40] «Sensor de flujo de agua 1" FS-400A», Naylamp Mechatronics - Perú. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/233-sensor-de-flujo-de-agua-1-fs400a.html>
- [41] «LM35 data sheet, product information and support | TI.com». Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ti.com/product/LM35?keyMatch=LM35&tisearch=search-everything&usecase=GPN-ALT#tech-docs>
- [42] «Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino | Random Nerd Tutorials». Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>
- [43] T. Agarwal, «HC-SR04 Ultrasonic Sensor : Pin Configuration, Working and Applications», ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.elprocus.com/hc-sr04-ultrasonic-sensor-working-and-its-applications/>
- [44] «I2C Soil moisture sensor by Catnip electronics on Tindie», Tindie. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.tindie.com/products/miceuz/i2c-soil-moisture-sensor/>
- [45] «Sensores de humedad capacitivos | How it works, Application & Advantages», Electricity - Magnetism. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricity-magnetism.org/es/sensores-de-humedad-capacitivos/>
- [46] A. Mickénas, «i2c-moisture-sensor». 10 de octubre de 2023. Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/Miceuz/i2c-moisture-sensor>
- [47] L. Llamas, «Reloj y calendario en Arduino con los RTC DS1307 y DS3231», Luis Llamas. Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/>
- [48] «Sensor De Nivel De Agua Lluvia Para Arduino - \$ 5.000». Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.electronicspot.com.co/MCO-876090349-sensor-de-nivel-de-agua-lluvia-para-arduino-\\_JM](https://www.electronicspot.com.co/MCO-876090349-sensor-de-nivel-de-agua-lluvia-para-arduino-_JM)
- [49] «Sensor De Temperatura Y Humedad Dht11 Arduino». Accedido: 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.todomicro.com.ar/investigacion-desarrollo-y-prototipado/224-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11-arduino.html>
- [50] Worcester, «Conoce las ventajas de las válvulas solenoides que debe ofrecerte un fabricante de válvulas». Accedido: 3 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:

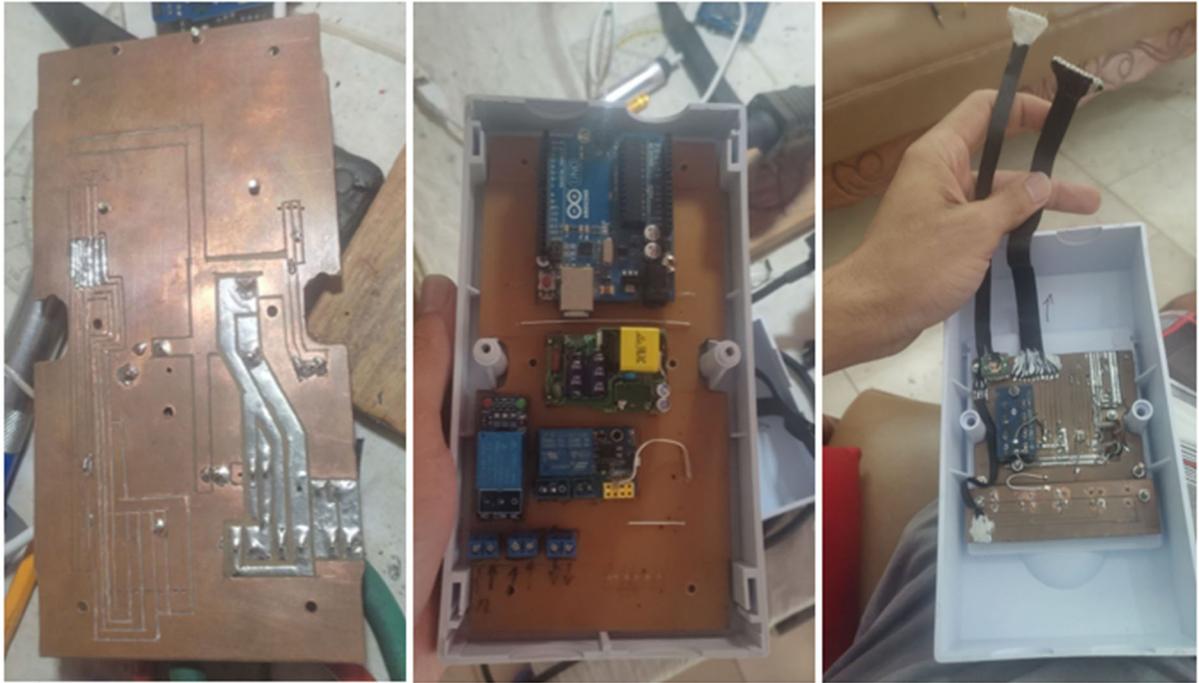
- <https://blog.worcester.com.mx/blog/conoce-las-ventajas-las-valvulas-solenoides-que-debe-ofrecerte-un-fabricante-valvulas>
- [51] «0048901 BOMBA THEBE 3/4 HP TP-70 115/230V», Aquasistemas. Accedido: 4 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aquasistemas.com.gt/producto/bombas-de-agua/bombas-para-agua-thebe/0048901-bomba-thebe-3-4-hp-tp-70-115-230v-2/>
- [52] «Bluetooth HC-05». Accedido: 4 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.dbuelectronics.cr/modulos/1072-bluetooth-hc-05.html>
- [53] «Display Oled 0.91" I2C 128\*32 SSD1306 Blanco», Naylamp Mechatronics - Perú. Accedido: 17 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/oled/391-display-oled-i2c-091-12832-ssd1306-blanco.html>
- [54] inventable, «Introducción a los relés», Inventable. Accedido: 4 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.inventable.eu/introduccion-a-los-reles/>
- [55] «¿Cómo funciona un contactor magnético?», Electricity - Magnetism. Accedido: 4 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricity-magnetism.org/es/como-funciona-un-contactor-magnetico/>
- [56] «XMC0 Series». [En línea]. Disponible en: [www.azettler.com](http://www.azettler.com)

# ANEXOS

## Anexo 1. Diagrama de bloques general



## Anexo 2. Construcción del panel de control



### Anexo 3. Panel de control



#### Anexo 4. Programando el controlador (método experimental)

