

Diseño y construcción de un sistema inteligente de control de bombas de agua en cultivo de fresas (*Fragaria*)

Design and construction of an intelligent system control of water pumps in strawberry cultivation (*Fragaria*)

José Luis Huayanay Villar¹, Sheyla Yasira Meneses Hiyo¹
Instituto Nacional de Investigación Espacial, SP, Brasil

RESUMEN

El objetivo del trabajo es desarrollar un sistema inteligente de riego en torno a microcontroladores (ejemplo Arduino, Funduino, etc.) para cultivos fresas (*Fragaria*). El sistema es una mejora de las primeras versiones "Diseño y construcción de un sistema automatizado de control de bombas de agua en un cultivo hidropónico en el entorno Arduino, UNSCH – Ayacucho" y "Controladores de modo deslizante para Humedad del suelo modelada por ecuación Diferencial parcial parabólico no lineal" publicada en 2020 e 2021 respectivamente por el mismo autor, los módulos relé en esta versión poseen varios canales, resistencias eléctricas y adaptables a energías fotovoltaicas; con la finalidad de obtener un sistema de micro controlador programable que puede activar y desactivar la bomba de agua de un invernadero en tiempos determinados de acuerdo al desarrollo del cultivo, particularmente en los cultivos de fresas, para ello es necesario utilizar diferentes técnicas de control y realizar varias pruebas experimentales con el fin de ajustar ciertos parámetros de control, especialmente la humedad y temperatura. Este sistema fue instalado en el invernadero de la empresa VILLA AUTOMATION EIRL en Huanta-Ayacucho, dentro del convenio anual de investigación entre la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) y la empresa peruana de fabricación VILLA AUTOMATION EIRL-RUC 20610009400.

Palabras Clave: microcontroladores, Sistema inteligente, Cultivo de fresas, Sistema automatizado.

ABSTRACT

The objective of the work is to develop an intelligent irrigation system around microcontrollers (for example, Arduino, Funduino, etc.) for strawberry (*Fragaria*) crops. The system is an improvement of the first versions "Design and construction of an automated control system for water pumps in a hydroponic crop in the Arduino environment, UNSCH - Ayacucho" and "Sliding mode controllers for soil moisture modeled by Differential equation nonlinear parabolic partial" published in 2020 and 2021 respectively by the same author, the relay modules in this version have several channels, electrical resistances and adaptable to photovoltaic energies; In order to obtain a programmable microcontroller system that can activate and deactivate the water pump of a greenhouse at certain times according to the development of the crop, particularly in strawberry crops, for this it is necessary to use different control techniques and perform various experimental tests in order to adjust certain control parameters, especially humidity and temperature. This system was installed in the greenhouse of the company VILLA AUTOMATION EIRL in Huanta-Ayacucho, within the annual research agreement between the National University of San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) and the Peruvian manufacturing company VILLA AUTOMATION EIRL-RUC 20610009400.

Keywords: Microcontrollers, Intelligent system, Strawberry cultivation, Automated system

¹ Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil. Email: jose.villar@inpe.br, sheyla.meneses.09@unsch.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente vemos que la sociedad está influenciada por factores sociales que impulsan el uso de la tecnología que está en continua evolución, ello hace posible replantear los modelos ya existentes para poder mejorarlos y proponer otros para nuestro bienestar (Villar, 2020). Además, debe tenerse en cuenta que la agricultura es uno de los sectores que más uso intensivo de la tierra y más consumo de recursos del medio ambiente. Solo las plantas ocupan 37% de la superficie terrestre y 2/3 del consumo total de agua total del hombre (FAO, 2016) (Kushner, 2011).

La compañía Arduino es una comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware, compuestas por micro controladores, elementos pasivos y activos. En el Perú hay antecedentes de que instituciones como Naylamp Mecatronics S.A.C y villa automation EIRL, vienen desarrollando proyectos multidisciplinarios en el entorno Arduino (Villar, 2020), (Herrador, 2009) y (Naylamp, 2018). Cruz Díaz, y Gutiérrez Bulla en 2021 desarrollaron un prototipo tipo invernadero con condiciones de temperatura y humedad relativa controladas y un sistema de iluminación suplementaria, con el fin de garantizar condiciones ambientales posicionadas para la planta y mejorar su crecimiento y desarrollo, permitiendo la maximización del cultivo por área (Díaz, 2021). Luego en el mismo año este equipo desarrollo una importante investigación “Controladores de modo deslizante para Humedad del suelo modelada por ecuación Diferencial parcial parabólico no lineal” consistía en que el control de modo deslizante (SMC) se aplica para regular el contenido de agua en el suelo para riego de precisión. La dinámica de la infiltración de agua en medios porosos (suelo) se modela mediante la ecuación de Richards y se consideran dos objetivos de control: el control de la humedad promedio y el control del contenido de agua del suelo a una profundidad específica (Villar, 2021).

Las plantas de fresas son vivaces de la familia de las Rosaceas, que alcanza de 5 a 20 cm de altura (figura 1). Las hojas son trifoliadas, mas pálidas por el envés. Sus flores son de color blanco, y tienen 5 pétalos (Díaz, 2008). Los verdaderos frutos son en realidad los granitos que se hallan adheridos a la superficie de la fresa. Se cultiva en camellones de suelo en un invernadero dispuestos en cada parcela, donde pasa una red de tuberías con caudal de agua con una pequeña cantidad de solución nutritiva la cual fluye hacia las raíces de las plantas, manteniéndolas nutridas, hidratadas, oxigenadas y de esta manera en constante desarrollo. Cada camellón de cultivo tiene agujeros, donde se colocan las plantas, estos canales que facilita la circulación de la solución nutritiva.

En general estos sistemas requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción, ya que no solo pueden automatizarse, sino que además la naturaleza de las tareas es sensiblemente diferente en estos sistemas. Además, en general las tareas son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos (Villar, 2020).

La investigación e implementación de teorías de ingeniería, complementan la fuente de alimentación al desarrollo tecnológico de los sectores agropecuarios. Tecnologías como la automatización y control, robótica, inteligencia artificial y Big data, son la palanca al desarrollo y mejoramiento de las técnicas agropecuarias en el mundo, permitiendo analizar, prevenir, validar y actuar sobre los modelos productivos que son desarrollados en este gran sector (Banco Mundial, 2008) Esperando que, en esta área, nuestro país alcance un rápido desarrollo agrícola. El trabajo se desarrolló como un aporte al dentro del convenio anual de investigación entre la

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) y la empresa peruana de fabricación VILLA AUTOMATION EIRL-RUC 20610009400.

Figura 1.

Morfología de la Planta de fresa (Fragaria).



Fuente. Adaptada de (Díaz, 2008).

2. MÉTODOS Y MATERIALES

Para el diseño y construcción del sistema automatizado se ha utilizado la placa Arduino, un microcontrolador de código abierto basada en el microcontrolador microchip ATmega328P y desarrollada por Arduino.cc (Vergara, 2011).

El Arduino posee 14 pines digitales, 6 pines analógicos, un resonador cerámico de 16 MHz y conexión USB. La tarjeta contiene todo lo necesario para el funcionamiento del microcontrolador ATmega328P que está alimentada con voltaje 12 V y 1,3 A con corriente máxima entrada/salida 40 mA (Kushner, 2011).

Asimismo, se ha utilizado “el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino”, el cual es una aplicación multiplataforma (para Windows, macOS, Linux) que está escrita en el lenguaje de programación Java. Lo cual se ha utilizado para escribir y cargar la programación en la placa Arduino (Vergara, 2011).

2.1. Módulo reloj y módulo relé

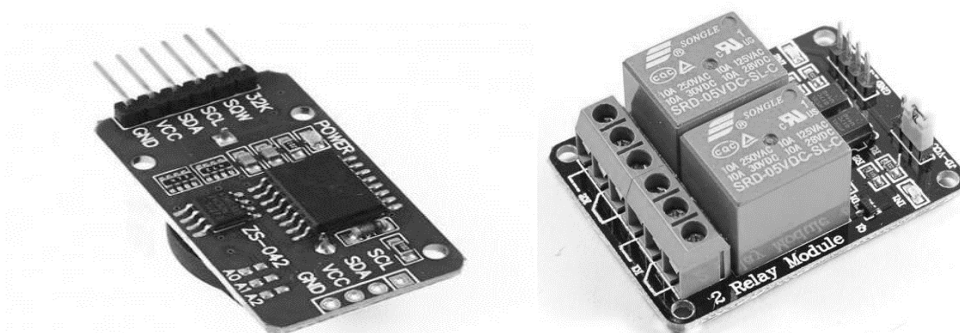
Para el proyecto fue necesario incluir el módulo reloj que está basado en el RTC DS3231 de Maxi y la EEPROM AT24C32 de ATMEL (ver Figura 2). Ambos circuitos integrados comparten el mismo bus de comunicación con el protocolo, este protocolo es de la pantalla lcd a utilizarse. El RTC DS3231 es la evolución del clásico RTC DS1307. Este módulo utiliza un oscilador interno compensado por temperatura, lo que hace que su precisión sea muy alta. La memoria EEPROM AT24C32 permite almacenar 32Kbits de datos de manera permanente (Nylamp, 2018). El módulo hará posible el control de los tiempos programados de encendido y apagado del sistema (8 minutos cada 30-60 minutos aproximadamente).

Para controlar componentes de alto voltaje o amperaje, como las bombas de agua, los cuales no pueden ser manejados directamente con Arduino, se utilizan relays o relés (Nylamp, 2018). Estos dispositivos permiten controlar cargas de alto voltaje con una señal pequeña. El módulo

es fabricado por Ningbo Songle Relay CoLtd, China, los cuales son capaces de manejar cargas de hasta 250 V/10 A.

Figura 2

Imagen del módulo reloj y relés



Fuente. Obtenida de Naylamp Mecatronics Perú, 2021.

Este proceso se cumple de manera cíclica de día y de noche.

Conexión y funcionamiento

- Voltaje de Operación: 3,3 V – 5 V
- Exactitud del reloj: 2 ppm
- Dirección I2C del DS3132: lectura (11010001), escribir (11010000)
- Memoria EEPROM AT24C32 (32Kbit)
- Salida de onda cuadrada programable por lo tanto reconoce la compilación del Software Arduino.
- La batería está diseñada para mantener al RTC funcionando por 10 años.
- Las conexiones se hicieron de la siguiente manera: Arduino SCL con el pin A5, SDA con pin A4, VCC con el puerto 5 V y GND con el GND del Arduino.

Cada canal posee aislamiento eléctrico por medio de un opto acoplador y un led indicador de estado. Funciona como un interruptor que, por medio de una bobina y un electroimán, este acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar los circuitos eléctricos de la bomba de agua (Villar,2020).

Tabla 1.

Especificaciones RTC-LCD.

1	Tierra (0V)	GND
2	Voltaje de Operación; 5 V (4,7 V – 5,3 V) Ajuste de contrastes: mediante un potenciómetro (puede ser de 1 kΩ 10 kΩ)	VCC
3		VDD
4	Selección del registro, para 0 es comandos y en 1 es para datos	Registro
5	Estado bajo para escribir y estado alto para leer el registro	Leer/ escribir

6	Envía datos a los pines de datos cuando recibe un flanco de bajada	Habilitar
15	Backlight VCC (5 V)	Led+
16	Backlight Tierra (0 V)	Led-

Fuente. Obtenida de Naylamp Mecatronics Perú, 2021.

2.3. Sensor PH

Permite movilizar y medir diferentes tipos sustancias en campo. Se compone de un simple amplificador electrónico y un par de electrodos, o alternatively un electrodo de combinación, y algún tipo de pantalla calibrada en unidades de pH. (Salas, 2021).

Figura 3

Sensor PH portátil programable.



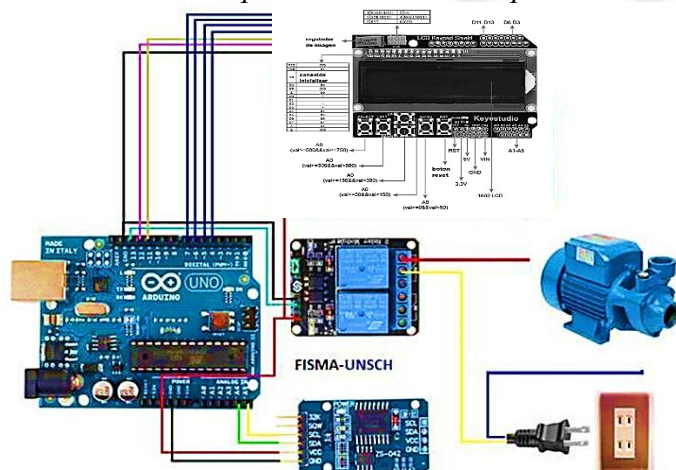
Fuente. Imágenes obtenidas de (Morales, 2023).

2.4. Pantalla LCD

Los sistemas digitales embebidos como Arduino, PC u otros trabajan únicamente con lógica binaria (0 y 1), es por eso que para leer los datos empleamos pantallas o displays alfanuméricos LCD (Tabla 1). Esta pantalla nos sirvió para hacer correcciones en los distintos proyectos, sobre todo para el manejo de los módulos y procesamiento de datos como el tiempo estimado para el cultivo.

Figura 4.

Conexiones correspondientes a los componentes del sistema de control.



Fuente. Imagen módulo keypad (adoptada de <https://wiki.keyestudio.com/>)

El LCD 16x2 posee 2 filas y 16 columnas de dígitos alfanuméricos como indica la tabla 1, funciona con el controlador interno HD44780, que es un integrado muy utilizado y para el cual existe amplia documentación. Para conectar la pantalla LCD a nuestro Arduino/PIC se necesitaron 6 pines: 2 de control y 4 de datos. En cuanto a la programación en Arduino se incluye por defecto la librería “LiquidCrystal”, que incluye ejemplos de prueba. El escudo LCD keystudio integra una pantalla LCD 1602 y seis botones en una sola pieza, que es totalmente compatible con la placa de control keystudio UNO R3 (Nylamp, 2018).

Detalles técnicos:

1. Tamaño de la pantalla LCD: 20,5 mm * 41 mm
2. Capacidad de visualización: 16*2 caracteres
3. Textos blancos sobre fondo azul
4. Viene con un potenciómetro para ajustar la luz de fondo
5. Voltaje de funcionamiento del chip: 4,5-5,5 V.
6. Corriente de trabajo: 2,0 mA (5,0 V)
7. Voltaje de funcionamiento óptimo: 5,0 V
8. Tamaño del personaje: 2,95*4,35 (ancho x alto) mm

2.5. Materiales reciclables

Para este proyecto ha sido posible utilizar materiales reciclables caseros como, molde de plástico reciclable de 16x11 cm, barras de silicona, cables de cobre para conexiones, estaño, etc.

2.6. Bomba de agua

La bomba de agua lleva la solución hasta los canales de cultivo, donde pasa el caudal permanentemente y con una pequeña cantidad de solución nutritiva la cual fluye hacia las raíces de las lechugas manteniéndolas nutridas, hidratadas y oxigenadas de esta manera en constante desarrollo (Díaz, 2008).

Figura 5.

Imagen de la zona experimental, con cultivos de fresa.



Nota. Foto tomada durante las pruebas de viabilidad del controlador inteligente, de control de bombas de agua en el área cultivada por fresas.

La bomba de agua tiene una capacidad de caudal máxima de 100 l/min con una altura máxima 36 m, trabajando con una alimentación de 5,2 A y 220 V.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El sistema se instaló en la empresa “VILLA AUTOMATION EIRL” Zona con 384 m² de área y dimensiones 2 m x16 m para cada parcela (ver Figura 6).

La validación de la prueba del prototipo se instaló con un funcionamiento de 3 meses, automatizando las dos bombas de agua instaladas en la base de los cultivos extrayendo el agua de un tanque de polietileno de 1100 litros para luego bombear a los cultivos de fresas instalados a un metro de la base del suelo, de la información recopilada, el microclima interior del área de cultivo de fresas muestra que la temperatura del suelo y la del aire durante la noche alcanza valores de 10 °C, superiores de 4-5° C a la temperatura exterior, estos parámetros complementarios fueron considerados en el “diseño y construcción del sistema inteligente de control de bombas de agua”.

Para mantener seguro y aislado de la humedad. El diseño para el invernadero es considerado una construcción agrícola, que se diseñó y construyó con el objetivo de obtener un clima interior más estable. La implementación de estas estructuras también busca mejorar el rendimiento productivo, obtener una mejor calidad del fruto, lograr la producción del cultivo fuera de las estaciones productivas del año, adaptar y mejorar el desarrollo y crecimiento de los cultivos Figura 5.

Durante el transcurso de las semanas de estudio el cultivo en invernadero estuvo sometido al efecto de los actuadores para calefacción, ventilación y humidificación estabilizándose en los rangos definidos de temperatura, en el día 23°C y en la noche 10°C con humedad relativa entre 45%-50%, dentro de los defectos encontrados en la planta se evidenciaron problemas con hojas amarillas, secas, y de colores no normales, sin embargo, con la ayuda de un experto se logró determinar que la dosificación de los fertilizantes en el cultivo no era la adecuada, lo que permitió actuar rápidamente, para mejorar las condiciones nutritivas del sustrato. Por otra parte, las plantas no desarrollaron enfermedades ni plagas.

Figura 6

La imagen muestra la instalación del controlador inteligente apoyado sobre el invernadero del cultivo de fresas y pepino dulce.





Nota. Fotos tomadas del área durante la implementación del prototipo.

Este programa físicamente actúa a partir de la 1:00 de la mañana por 8 minutos luego activa, nuevamente a las 6:00 am por 8 minutos y así sucesivamente a cada hora hasta las 10:00 pm, este proceso es cíclico durante el día y noche.

La ventaja de nuestro proyecto con respecto a los sistemas industriales, es que podemos incorporar más relés para diferentes bombas de agua en el caso de ampliar el área de cultivo y graduar los tiempos de bombeo. Para un óptimo funcionamiento de nuestro sistema se debe proveer de constante energía eléctrica, de otra forma se originaría una desactualización del tiempo programado, este problema se debe al tipo de precisión de los módulos de reloj insertados en el sistema automatizado.

3.1. Algoritmo

Para el funcionamiento del sistema se programó en el software Arduino (ver Tabla 2), en lenguaje Java. El programa es el siguiente:

<pre>#include <LiquidCrystal.h> LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); int relay1 = 0; int relay2 = 1; int relay3 = 2; int relay4 = 3; int currentMenuItem = 0; int lastState = 0; int b_light_value = 0; void setup() { lcd.begin(16, 2); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0);</pre>	<pre>digitalWrite(relay1, LOW); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("riego 1 encendido "); break;} case 15: void loop(); { lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("encendiendo... "); delay(900); digitalWrite(relay1, LOW); delay(400); digitalWrite(relay2, LOW); delay(400);</pre>
---	---

<pre> lcd.print("VILLA AUTOMATION"); digitalWrite(relay1, HIGH); digitalWrite(relay2, HIGH); digitalWrite(relay3, HIGH); digitalWrite(relay4, HIGH); pinMode(relay1, OUTPUT); pinMode(relay2, OUTPUT); pinMode(relay3, OUTPUT); pinMode(relay4, OUTPUT); } void loop() { mainMenu(); } void mainMenu() { int state = 0; int x = analogRead (0); lcd.setCursor(0,0); if (x < 50) { state = 4; } else if (x < 200) { state = 1; } else if (x < 400){ state = 2; } else if (x < 600){ state = 5; } else if (x < 800){ state = 3; } if (currentMenuItem < 0 currentMenuItem > 17) { currentMenuItem = 0; } void loop(); { if (state != lastState) { if (state == 1) { currentMenuItem = currentMenuItem - 1; displayMenu(currentMenuItem); } else if (state == 2) { currentMenuItem = currentMenuItem + 1; displayMenu(currentMenuItem); } else if (state == 3) { selectMenu(currentMenuItem); } else if (state == 5) { lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("Apagando... "); delay(900); digitalWrite(relay1, HIGH); delay(400); </pre>	<pre> digitalWrite(relay3, LOW); delay(400); digitalWrite(relay4, LOW); lcd.setCursor(0,0); lcd.print ("temporizador on"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("riego encendido"); delay(60000); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("Apagando... "); delay(900); digitalWrite(relay1, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay2, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay3, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay4, HIGH); lcd.setCursor(0,0); lcd.print ("temporizador off"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("riego apagado "); break; case 16: void loop(); { lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("encendiendo... "); delay(900); digitalWrite(relay1, LOW); delay(400); digitalWrite(relay2, LOW); delay(400); digitalWrite(relay3, LOW); delay(400); digitalWrite(relay4, LOW); lcd.setCursor(0,0); lcd.print ("temporizador on"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("riego encendido"); delay(30000); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("Apagando... "); delay(900); digitalWrite(relay1, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay2, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay3, HIGH); delay(400); </pre>
--	--

<pre> digitalWrite(relay2, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay3, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay4, HIGH); displayMenu(currentMenuItem); } else if (state == 4) { selectMenu(currentMenuItem); } lastState = state; }} delay(17); } void displayMenu(int x) { switch (x) { case 1: lcd.setCursor(0,0); lcd.print("clik Seleccionar"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("riego 1 apagada "); digitalWrite(relay1, HIGH); digitalWrite(relay2, HIGH); digitalWrite(relay3, HIGH); digitalWrite(relay4, HIGH); break; case 17: lcd.setCursor(0,0); lcd.print ("10 segundos"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("temporizador Off"); digitalWrite(relay1, HIGH); digitalWrite(relay2, HIGH); digitalWrite(relay3, HIGH); digitalWrite(relay4, HIGH); break; }} void selectMenu(int x) { switch (x) { case 1: lcd.setCursor(0,0); lcd.print("clik Izquierda Atrás "); void loop(); {lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Encendiendo... "); digitalWrite(relay2, HIGH); digitalWrite(relay3, HIGH); digitalWrite(relay4, HIGH); delay(900); </pre>	<pre> digitalWrite(relay4, HIGH); lcd.setCursor(0,0); lcd.print ("temporizador off"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("riego apagado "); break; case 17: void loop(); { lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("encendiendo... "); delay(900); digitalWrite(relay1, LOW); delay(400); digitalWrite(relay2, LOW); delay(400); digitalWrite(relay3, LOW); delay(400); digitalWrite(relay4, LOW); lcd.setCursor(0,0); lcd.print ("temporizador on"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("riego encendido"); delay(10000); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("Apagando... "); delay(900); digitalWrite(relay1, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay2, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay3, HIGH); delay(400); digitalWrite(relay4, HIGH); lcd.setCursor(0,0); lcd.print ("temporizador off"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print ("riego apagado "); break; }}}}}}}}}} </pre>
---	---

Nota. El presente algoritmo esta desarrollado en lenguaje como C++ en el software Arduino.

4. CONCLUSIONES

Se ha diseñado utilizando el micro controlador Arduino ATmega328P un sistema de control automatizado de bombeo de agua para un invernadero cultivo de fresas e instalado en una cubierta de plástico a fin de protegerlo de la humedad como se muestra en la Figura 5.

El sistema controlador Automatizado ya viene operando en un cultivo de fresas de una manera eficientemente desde hace 3 meses, logrando mejorar la producción del cultivo y originando primeros frutos para su pronta cosecha. Para el caso de futuros trabajos relacionados con este proyecto es necesario tener un abastecimiento permanente del fluido de agua y energía eléctrica, para garantizar la precisión de operación con el tiempo programado, asimismo aplicar un control de modelo predictivo basado en economía (MPCE) para la optimización al máximo de los recursos y productos a obtener.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Empresa Villa Automation, por permitir, desenvolver las pruebas del prototipo.

Agradecer a mi familia y mi amada por darme las fuerzas y seguir adelante.

Asimismo, a la revista Aypate-UNF, y de manera muy especial a su Editor en Jefe y a su Comité Editorial, por la oportunidad brindada de difundir nuestros trabajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bonilla, C. R. (2011). Cartillas del Corredor Tecnológico Cultivando su Futuro. Universidad Nacional de Colombia, Corredor Tecnológico Agroindustrial.

Cruz, W. O., & Gutiérrez Bulla, J. P. (2008). Diseño y construcción de un invernadero para el cultivo de fresa.

FAO. (2016). Agricultura mundial: Hacia los años 2015/2030. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/y4252s/y4252s00.htm>

Enríquez, R. (2009). Guía de usuario de Arduino (Vol. 13). Universidad de Córdoba.

Kushner, D. (2011). The making of Arduino. IEEE Spectrum, 26.

Morales, J. R. (2023). Automatización de un sistema de hidroponía de fresas en el municipio de Sacaba.

Banco Mundial. (2008). Agricultura para el desarrollo: Informe sobre el desarrollo mundial (Vol. 2008, p. 19).

Naylamp Mechatronics S. A. C. (2018). Naylamp Mechatronics. <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/115-modulo-gsm-sim800l.html>

Salas, J. E. (2021). Sistema automático de dosificación de nutrientes para un cultivo hidropónico de fresas (Tesis de pregrado).

- Vergara, J., Molina, R., & Machado, C. (2011). Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 6, 918.
- Villar, J. L. H., & Cunha, J. P. V. S. (2022). Sliding-mode controllers for soil moisture modeled by nonlinear parabolic partial differential equations. En 2022 16th International Workshop on Variable Structure Systems (VSS). IEEE.
- Villar, J. L. H., Ore Garcia, J., & Meneses Hiyo, S. Y. (2020). Diseño y construcción de un sistema automatizado de control de bombas de agua en un cultivo hidropónico en el entorno Arduino, UNSCH–Ayacucho.

