



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN
PARA EL CONTROL Y MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LAS
VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL CULTIVO DE MORA
EN EL SECTOR DE SAN JUAN”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR/ES:

RENATO JESÚS PÉREZ VALVERDE

CRISTHIAN ANTHONY CASTILLO MOREJÓN

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN
PARA EL CONTROL Y MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LAS
VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL CULTIVO DE MORA
EN EL SECTOR DE SAN JUAN”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR/ES: RENATO JESÚS PÉREZ VALVERDE

CRISTHIAN ANTHONY CASTILLO MOREJÓN

DIRECTOR: ING. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLÁN

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Renato Jesús Pérez Valverde y Cristhian Anthony Castillo Morejón

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, RENATO JESÚS PÉREZ VALVERDE Y CRISTHIAN ANTHONY CASTILLO MOREJÓN, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 08 de septiembre de 2021

.....

Renato Jesús Pérez Valverde

0605033075

.....

Cristhian Anthony Castillo Morejón

0202508446

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: dispositivo tecnológico **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL CULTIVO DE MORA EN EL SECTOR DE SAN JUAN”**, de responsabilidad de los señores **RENATO JESÚS PÉREZ VALVERDE, CRISTHIAN ANTHONY CASTILLO MOREJÓN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	Firma	Fecha
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	08/09/2021 _____
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.	_____	08/09/2021 _____
Ing. José Enrique Guerra Salazar MIEMBRO DEL TRIBUNAL.	_____	08/09/2021 _____

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación es dedicado para mi padre por su apoyo, paciencia y amor incondicional a lo largo de este reto académico, a mi hermano y familiares quienes siempre han sido un empuje en este periodo académico, y a todos los docentes que de una o de otra manera confiaron en mí y me dieron ánimos durante este aprendizaje académico.

Renato

Dedico este trabajo a mis padres por haberme dado la vida, tener la paciencia y darme todo su apoyo para poder alcanzar mis metas, también dedico a mis hermanos, amigos y docentes que me ayudaron ya sea de una forma u otra para culminar este camino de la vida universitaria.

Cristhian

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por haber permitido culminar este proyecto académico, a mi padre y hermano por su apoyo incondicional a lo largo de todo este tiempo. Así mismo agradezco el apoyo de nuestro tutor Ing. Edwin Altamirano que fue de gran ayuda en el desarrollo y aplicación del presente proyecto.

Renato

Agradezco a mis padres por todo el apoyo que me han brindado para poder alcanzar mis metas, a Dios por darme la luz hacia el camino del bien y poder ser una gran persona, de igual manera al Ing. Edwin Altamirano por toda su confianza y apoyo en el desarrollo de este trabajo integrador.

Cristhian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1.	La Mora	7
1.1.1.	<i>Características ecológicas.....</i>	<i>7</i>
1.1.2.	<i>Descripción botánica.....</i>	<i>8</i>
1.1.3.	<i>Plantación de mora</i>	<i>8</i>
1.2.	Sistemas de riego	10
1.2.1	<i>Riego por superficie</i>	<i>11</i>
1.2.2.	<i>Riego por aspersión.....</i>	<i>12</i>
1.2.3.	<i>Riego por goteo.....</i>	<i>13</i>
1.2.4.	<i>Unidad de presión</i>	<i>15</i>
1.3.	Automatización en la agricultura	16
1.3.1.	<i>Sistema de control automático.....</i>	<i>16</i>
1.3.2.	<i>Componentes del control</i>	<i>17</i>
1.3.2.1.	<i>Sensor.....</i>	<i>17</i>
1.3.2.2.	<i>Controlador.....</i>	<i>19</i>
1.3.2.3.	<i>Actuadores</i>	<i>21</i>
1.4.	Internet de las cosas (IoT)	22
1.4.2.	<i>Plataformas de desarrollo de IoT.....</i>	<i>22</i>
1.5.	Cloud Monitoring.....	24
1.6.	Herramientas de desarrollo de aplicaciones móviles	25

CAPÍTULO II

2.	PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO	28
2.1.	Requerimientos del Sistema Morautomation	28
2.2.	Tareas de investigación.....	28
2.3.	Concepción del Sistema	29
2.4.	FASE 1. Variables de control en cultivos de mora.....	30
2.4.1.	<i>Caracterización del área de Estudio.....</i>	<i>30</i>
2.4.2.	<i>Selección de las variables de control.....</i>	<i>31</i>
2.4.3.	<i>Instalación del sistema de riego por goteo</i>	<i>32</i>
2.4.3.1.	<i>Preparación del terreno.....</i>	<i>32</i>
2.4.3.2.	<i>Elaboración de camas y colocación de cinta de goteo</i>	<i>32</i>
2.4.3.3.	<i>Colocación de acolchado y sembrado de la planta de mora</i>	<i>34</i>
2.4.3.4.	<i>Construcción del pozo.....</i>	<i>34</i>
2.4.3.5.	<i>Instalación del sistema de bombeo</i>	<i>35</i>
2.4.4.	<i>Instalación del sistema de riego por aspersión</i>	<i>37</i>
2.5.	FASE 2. Arquitectura del sistema de control de riegos.....	38
2.5.1.	<i>Arduino nano</i>	<i>39</i>
2.5.2.	<i>Sensor de humedad FC-28</i>	<i>39</i>
2.5.3.	<i>Sensor de lluvia FC-27</i>	<i>40</i>
2.5.4.	<i>Sensor de temperatura ambiente DHT 21.....</i>	<i>41</i>
2.5.5.	<i>Boya</i>	<i>41</i>
2.5.6.	<i>Diseño de control del sistema de riego por goteo.....</i>	<i>42</i>
2.5.7.	<i>Diseño de control del sistema de riego por aspersión.....</i>	<i>44</i>
2.5.8.	<i>Grafcet</i>	<i>45</i>
2.6.	FASE 3. Cloud Monitoring	46
2.6.1.	<i>Integración del sistema a ThingSpeak</i>	<i>46</i>
2.6.2.	<i>Aplicativo móvil.....</i>	<i>48</i>
2.7.	FASE 4. Implementación del sistema de control.....	49

CAPÍTULO III

3.	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	55
3.1.	Validación de sensores.....	55
3.1.1.	<i>Medición de humedad relativa del suelo con el equipo patrón QYCL.....</i>	<i>55</i>
3.1.2.	<i>Medición de temperatura ambiente con el equipo patrón ROEAM</i>	<i>58</i>

3.2.	Estabilidad del sistema Morautomation	61
3.2.1.	<i>Estabilidad del sensor de humedad FC-28.....</i>	61
3.2.2.	<i>Estabilidad del sensor de temperatura DHT21</i>	62
3.3.	Pruebas de activación de los sistemas de riego.....	64
3.4.	Medición de temperatura ambiente.	66
3.5.	Comprobación del registro de datos del sistema Morautomation en la plataforma ThingSpeak.....	68
3.6.	Medición del consumo energético.....	69

CAPITULO IV

4.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	71
4.1	Costo de materiales del sistema Morautomation	71
4.2	Costo de materiales de los sistemas de riego.....	72
4.3	Costo total del sistema implementado.	73
	CONCLUSIONES.....	74
	RECOMENDACIONES.....	76

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Distancias de plantación de Mora.....	9
Tabla 2-1: Cantidad de agua disponible en el suelo.....	10
Tabla 3-1: Velocidad de infiltración	11
Tabla 4-1: Tipos de sistema de riego por goteo	14
Tabla 5-1: Comparación tipos de riego.....	15
Tabla 6-1: Sensores de Temperatura.....	18
Tabla 7-1: Sensores de Humedad.....	18
Tabla 8-1: Tipos de controladores	19
Tabla 9-1: Clases de Arduino.....	20
Tabla 10-1: Plataformas IoT y sus propiedades.....	24
Tabla 11-1: Softwares para aplicaciones móviles Android.....	26
Tabla 1-2: Terminales de conexión Arduino	50
Tabla 1-3: Datos de pruebas de medición de humedad realtiva de suelo con QYCL vs FC-28	56
Tabla 2-3: Datos de pruebas de medición de temperatura ambiente con Roeam vs DHT21	59
Tabla 3-3: Cálculo de coeficiente de variación – Sensor FC-28.....	61
Tabla 4-3: Cálculo de coeficiente de variación – Sensor DHT21	63
Tabla 5-3: Datos de mediciones de prueba de la activación de sistemas de riego	64
Tabla 6-3: Cantidad de éxitos y fracasos en la activación Sistemas de Riego.....	65
Tabla 7-3: Lecturas de temperatura leídos durante cuatro semanas.....	67
Tabla 8-3: Test de homogeneidad de varianzas	68
Tabla 9-3: Consumo energético a plena carga y en modo stand by.....	69
Tabla 1-4: Costo de materiales del sistemaMorautomation.....	71
Tabla 2-4: Costo de materiales de los sistemas de riego.....	72
Tabla 3-4: Otros gastos.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mora.....	8
Figura 2-1: Camas – acolchado	9
Figura 3-1: Patrones de infiltración según la textura del suelo.....	11
Figura 4-1: Sistema de Riego por Superficie.....	12
Figura 5-1: Sistema de Riego por Aspersión.....	13
Figura 6-1: Sistema de riego por goteo.....	14
Figura 7-1: Unidad de presión	15
Figura 8-1: Unidad de presión	17
Figura 9-1: Arquitectura válvula selenoide.....	21
Figura 10-1: Computación en la nube.....	25
Figura 1-2: Concepción del sistema.....	29
Figura 2-2: Ubicación geográfica del terreno	31
Figura 3-2: Nivelación del terreno.....	32
Figura 4-2: Diseño de camas en SolidWorks.....	33
Figura 5-2: Elaboración de camas y colocación de cinta de goteo	33
Figura 6-2: Colocación de acolchado y sembrado de plantas.....	34
Figura 7-2: Pozo de agua	35
Figura 8-2: Desarenador	35
Figura 9-2: Sistema de Bombeo.....	36
Figura 10-2: Distribución de tuberías	36
Figura 11-2: Electroválvulas Hunter 1 ½” – Distribución de zonas	37
Figura 12-2: Riego por aspersión.....	38
Figura 13-2: Sensor de Humedad FC-28	39
Figura 14-2: Circuito amplificador.....	40
Figura 15-2: Circuito acondicionador de señal.....	40
Figura 16-2: Sensor de Lluvia FC-27	41
Figura 17-2: Sensor de temperatura.....	41
Figura 18-2: Sensor tipo boya.....	42
Figura 19-2: Conexión a plataforma ThingSpeak.....	47
Figura 20-2: Canales ThingSpeak.....	47
Figura 21-2: Programación de bloques mediante app inventor	48
Figura 22-2: Aplicación móvil.....	49

Figura 23-2: Conexiones del sistema de control - Fritzing	50
Figura 24-2: Diseño de Placa de Control PCB	51
Figura 25-2: Diagrama de mando y potencia.....	52
Figura 26-2: Proceso de Construcción del Tablero Eléctrico	53
Figura 27-2: Componentes del tablero eléctrico.....	54
Figura 1-3: Mediciones QYCL vs FC-28	56
Figura 2-3: Mediciones Roem vs DHT21.....	59
Figura 3-3: Base de datos ThingSpeak – Temperatura.....	68
Figura 4-3: Medición consumo de energía	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Fases de desarrollo del proyecto integrador	30
Gráfico 2-2: Sistema de control lazo cerrado.....	42
Gráfico 3-2: Diagrama de flujo, sistema de riego por goteo.....	43
Gráfico 4-2: Diagrama de flujo, Sistema de riego por aspersión.....	44
Gráfico 5-2: Grafcet.....	45
Gráfico 6-2: Interfaz de monitoreo en ThingSpeak	48
Gráfico 1-3: Representación estadística de la validación del sensor de.....	58
Gráfico 2-3: Representación estadística de la validación del sensor	60
Gráfico 3-3: Estadística de éxitos y fracasos – Activación.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ARDUINO NANO

ANEXO B: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FC-28

ANEXO C: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FC-27

ANEXO D: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DHT21

ANEXO E: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HIGRÓMETRO
ANALÓGICO QYCL

ANEXO F: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TERMÓMETRO RAOM TP

50

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un sistema que se utilice para la automatización e implementación de dos tipos de riego por goteo y por aspersión en un cultivo de mora, los mismos que controlen el efecto de las variables ecológicas que intervienen directamente en el crecimiento de las plantas. Se introdujeron conceptos de la nueva era de revolución agrícola que están ligados directamente al uso de las plataformas del Internet de las Cosas, permitiendo así establecer comunicaciones hacia la nube desde el sistema de control automático implementado, y un monitoreo en tiempo real de los datos de las variables de control. Se presentó una aplicación móvil Android que se la puede ejecutar desde cualquier punto remoto tan solo con una conexión wifi para acceder a la información que se genera desde el sistema de control. Para realizar una valoración estadística del producto implementado se presentó validaciones a los sensores usados y a todo el sistema en conjunto, en lo que respecta a estabilidad, error absoluto de instrumentos y control de activación, donde se concluye que se trata de un sistema estable, confiable y de bajo costo y consumo energético. La arquitectura de control desarrollada convierte al sistema en uno escalable, sobre el cual se recomienda generar nuevas soluciones que brinden oportunidades de mejora al agro.

Palabras clave: <AUTOMATIZACIÓN>, <SISTEMAS DE RIEGO>, <INTERNET DE LAS COSAS>, <APLICACIÓN MÓVIL>, <CLOUD MONITORING>.

1669-DBRA-UTP-2021



Firmado electrónicamente por:
RAFAEL INTY
SALTO

ABSTRACT

The objective of this research project was to develop a system used for the automation and implementation of two types of drip and sprinkler irrigation in a blackberry crop, the same ones that control the effect of environmental variables that directly intervene in the growth of the plants. Concepts of the new era of the agricultural revolution were introduced that are directly linked to the use of the Internet of Things platforms, allowing communication to the cloud from the automatic control system implemented and real-time monitoring of data from control variables. An Android mobile application was presented that can be run from any remote point via a Wi-Fi connection to access the information generated from the control system. To perform a statistical evaluation of the implemented product, validations were presented to the sensors used and to the entire system as a whole, regarding the stability, the absolute error of instruments, and activation control; it is concluded that it is a stable, reliable system and low cost and energy consumption. The control architecture developed makes the system scalable; it is recommended to generate new solutions that provide opportunities for improvement to agriculture.

Keywords: <AUTOMATION>, <IRRIGATION SYSTEMS>, <INTERNET OF THE THINGS>, <MOBILE APP>, <CLOUD MONITORING>.



INTRODUCCIÓN

Aunque el sector agrícola ha sido desde el inicio de la historia humana, el sector que ha generado las principales actividades económicas en el planeta ha sido también el que menos evolución tecnológica ha tenido.

Tuvieron que pasar muchos años para que el agro muestre una reestructuración en sus procesos, y permita la introducción de elementos tecnológicos que faciliten el manejo del campo y el control de los recursos naturales de una manera responsable.

La falta de tecnificación, por ejemplo, en el manejo de cultivos, ha sido uno de los principales factores que ha llevado al desperdicio de recursos tan importantes y limitados como el agua, así como también, a devastadoras consecuencias en los cultivos, por falta de control de fenómenos climáticos como las heladas.

Según un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, a nivel mundial la disponibilidad promedio de agua es de 1.386'000.000 Km³, de esta cantidad el 97,5% es agua salada y el 2,5% es agua dulce. De esta última cifra, el 70% no es apta para consumo humano ya que considera glaciares, es decir, tan solo el 30% está disponible, pero esto sin tomar en cuenta que se utiliza también en procesos industriales, acueductos y sistemas de riego, siendo este último el que ocasiona mayor pérdida del recurso debido a la poca tecnificación que existe (Anaya et al., 2017).

El automatizar sistemas de riego puede transformar un sistema que ha sido a través del tiempo habitualmente estático en uno dinámico e inteligente, que conduzca a una mayor eficiencia del uso de agua y menos esfuerzo de supervisión humana (Mahajan y Kalkundri, 2019).

Aprovechar el tipo de riego como una forma de control de variables que intervienen en los cultivos, significa aplicar nuevas técnicas en las que se puede aprovechar los recursos existentes y reducir el impacto ambiental que puedan generar éstos.

El uso de las tecnologías de información, puede contribuir para brindar soluciones que mejoren la automatización del riego, a través del monitoreo de la información generada en campo. Ya que, el manejo de información a tiempo, permite tomar decisiones acertadas y tener un mejor control de todo el sistema (Guijarro et al. 2018).

ANTECEDENTES

Con la aparición del tractor en el siglo XX, la agricultura empezó a potencializar su producción, pasando de realizar cosechas manuales a utilizar maquinarias que facilitaban sus labores agrícolas. Hoy en día, producto de su propia evolución, la agricultura ha empezado a combinar técnicas atávicas de cultivo con tecnologías de información que la están llevando a una nueva revolución, venciendo así sus retos actuales (Probelte, 2020).

Existen varios trabajos investigativos que se han desarrollado en los últimos años y que han permitido resolver problemas estructurales en el campo, promoviendo además soluciones tecnológicas. A continuación, se menciona algunos de estos trabajos:

En el año 2011 en la Universidad Técnica de Ambato se expone un plan de fertirrigación de cultivo de mora aplicando una tecnificación basada en la aplicación automática de bombas eléctricas (Pérez, 2011).

La Universidad Técnica del Norte en el año 2014, presenta un desarrollo de un sistema de riego para cultivos de mora por aspersión permitiendo proporcionar la cantidad de agua adecuada para mantener todas las etapas de producción del cultivo de mora. Una desventaja del método fue que contó únicamente con un sistema de riego por aspersión que solo nutría a las hojas, y en virtud de que no alcanzaba de manera uniforme a las raíces, éstas recibían escaso porcentaje de nutrientes (Guamán Diego, 2014).

Cuatro años más tarde, en la Universidad de Guayaquil, se efectuó una investigación por parte de docentes y estudiantes que desarrollaron un sistema de riego automatizado en cultivos pertenecientes al Cantón Triunfo, la finalidad de este proyecto fue optimizar el consumo de agua mediante un riego por goteo, es decir, este sistema fue automatizado para tomar decisiones de riego solamente cuando la planta necesite nutrientes e hidratación. Una desventaja de esta implementación fue que no contó con un almacenamiento en una base de datos que permita llevar un registro del consumo de agua (Orellana y Jazmín, 2018).

En el mismo año, se desarrolló en la provincia del Guayas un prototipo electrónico para un sistema automatizado de riego en cultivo de fresas, este proyecto buscaba mejorar la producción a través del control remoto de temperatura y humedad, la desventaja de este proyecto es que aún no ha sido implementado en grandes cultivos para comprobar su eficacia en cuanto al nivel de producción (Arcos y Salinas, 2018).

En el año 2019, en la ciudad San Miguel de Bolívar, un estudiante de la Universidad Tecnológica Israel, presenta un plan de mejoramiento para la producción y comercialización del cultivo de mora,

para lo cual exclusivamente investiga nuevas técnicas agrícolas para incrementar la productividad del cultivo (Auquillas, 2019).

Formulación del problema

¿Es posible implementar un sistema automatizado que controle y monitoree las variables que intervienen en el cultivo de la mora en el sector de San Juan?

Sistematización del problema

- ¿Cuáles son las bases teóricas que permiten determinar las variables que se pueden controlar en el cultivo de la mora?
- ¿Qué sistema automatizado de riego permite cumplir con los requerimientos establecidos por el cultivo de la mora?
- ¿Qué diseño electrónico puede realizar un control de heladas en el cultivo de la mora para prevenir el daño en la planta?
- ¿Cuál es el software y hardware adecuados que permitan implementar el sistema propuesto?
- ¿Cómo la aplicación del cloud monitoring permite tener un control, seguimiento y almacenamiento de datos en tiempo real de las variables que intervienen en el cultivo de la mora?
- ¿Cómo validar si el sistema implementado que integra el control de variables en el cultivo de la mora cumple con los requerimientos planteados?

Justificación teórica

Los avances tecnológicos aplicados en la agricultura han experimentado diversas revoluciones desde la aparición de las primeras herramientas, el desarrollo de la metalurgia, el descubrimiento y la expansión de nuevos cultivos; cada una de ellas con diferentes cambios que han permitido mejorar e incrementar la producción frente a los problemas existentes como el cambio repentino de temperatura, aparición de plagas, reducción de tierras fértiles, sequías, entre otros. Por tal razón, la tecnología en la agricultura se ha venido perfilando como una de las soluciones con mayor potencial para dar respuesta a estas dificultades, contribuyendo a aumentar la producción, reduciendo costos y elevando la calidad en los alimentos (EnviraIoT, 2020).

A nivel mundial, se cuenta con varias empresas que se dedican a actividades tecnológicas dentro de la agricultura, como la empresa Hunter PCC, la cual fabrica controladores inteligentes que regulan los tiempos de ejecución de riego sobre la base de las condiciones climáticas locales, su principal aplicación se encuentra en las florícolas (Industries, 2019).

Hunter PCC no es la única compañía a mundial que ofrece estos productos, existen varias empresas que se dedican al mejoramiento de sistemas en la agricultura. En la feria de riego más grande del mundo realizada en Estado Unidos en el 2018, se presentaron novedades de sistemas de riego por parte de varias empresas, una de las más importantes fue Davis Instrument, la cual creó una plataforma llamada EnviroMonitor, considerada como un producto revolucionario que es compatible con sensores de terceras empresas, ésta recopila datos de inteligencia, midiendo, monitoreando y gestionando información crítica de campo relativa a clima, riego y producción de los cultivos. El costo aproximado del sistema completo bordea los \$10000.

A nivel de Latinoamérica, en Ecuador, el nivel tecnológico en el sector agrícola es aún mínimo, a pesar de ser un país megadiverso y un lugar de origen de varias especies frutícolas, como la mora, un frutal andino de múltiples beneficios a la salud humana por sus aportes de vitaminas, minerales y antioxidantes. En el país se reportan alrededor de 5000 hectáreas de mora, que involucran de manera directa a 15000 pequeños y medianos productores de la sierra, los cuales obtienen rendimientos promedio de cinco toneladas año, producto de un nivel tecnológico bajo, por ende, éste debe ser mejorado a través de programas integrales que involucren el desarrollo tecnológico, infraestructura de riego y fortalecimiento de los sistemas de transferencia de tecnología.

Investigaciones desarrolladas por el programa de Fruticultura del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria INIAP en cultivos productores de mora que cuentan con un cierto nivel tecnológico, han permitido determinar la factibilidad de incrementar y obtener rendimientos entre ocho a diez toneladas por hectárea al año, representando un aumento en los volúmenes de producción del 60 % al 100%. Para ello, según la INIAP es importante mejorar el manejo de la nutrición y riego por goteo del cultivo, así como el manejo integrado de plagas y sistemas de conducción (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017).

Es así, que con este proyecto se pretende contribuir significativamente al avance tecnológico en la agricultura, desarrollando una solución que permita controlar y monitorear las variables ecológicas que intervienen en el cultivo de la mora en espacios abiertos. Además, el reto de la implementación de este proyecto es el uso de conceptos de la cuarta revolución industrial impulsados por el internet industrial de las cosas (IIoT). El desafío es mayor, ya que ahora no se trata tan solo de coexistir dentro

de un mismo espacio físico, sino de combinarse con tecnologías de información que potencien un control y monitoreo a distancia de los datos generados en el sistema.

Justificación aplicativa

El desconocimiento de nuevas tecnologías en cuanto a manejo de técnicas de cultivo es una de las razones que lleva a los agricultores a no querer experimentar con la siembra de nuevos productos que podrían aumentar sus beneficios económicos.

El miedo a sembrar en terrenos ubicados a mayor altitud al aire libre, así como los factores climáticos y las necesidades de agua, generan desconfianza al momento de cultivar.

La mora, es una planta que, si bien se da en zonas climáticas altas, está muy expuesta a factores como la helada, la sequía, calidad de suelo y plagas que pueden matarla. La mora es un fruto que con los cuidados adecuados puede generar ganancias económicas significativas, sin embargo, en localidades como la Parroquia de San Juan situada a 3200 msnm, nadie se atreve a cultivar este fruto.

De allí que surge la necesidad de proponer una solución que permita cultivar la mora bajo las condiciones antes descritas, que brinde la seguridad necesaria y suficiente para poder tener un control absoluto de todas las variables que intervienen en su proceso de crecimiento, y así, permita utilizar los terrenos existentes en la localidad que son vagamente ocupados con cultivos que no dejan réditos económicos para sus agricultores.

Un manejo adecuado de técnicas de regadío, de control de heladas y de nutrientes a la planta, sumado a un monitoreo constante que vigile todo el proceso de crecimiento de la planta, garantiza una buena producción.

Objetivo general

Implementar un sistema de automatización para el control y monitoreo de las variables que intervienen en el cultivo de mora en el sector de San Juan.

Objetivos específicos

- Investigar las bases teóricas que permitan determinar las variables que se pueden controlar en el cultivo de mora.
- Diseñar un sistema de irrigación tecnificado aplicando el método de goteo a baja presión para el cultivo de mora.
- Diseñar un circuito electrónico que permita controlar las heladas en el cultivo de la mora hidratando sus hojas.
- Implementar la solución diseñada en un terreno ubicado en la Parroquia de San Juan.
- Aplicar los conceptos de cloud monitoring que permitan tener un control, seguimiento y almacenamiento de datos en tiempo real de las variables que intervienen en el cultivo de la mora y que puedan ser mostradas en un dispositivo móvil.
- Validar el sistema implementado a través del uso de herramientas estadísticas para el cumplimiento de los requerimientos planteados en esta investigación.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Este capítulo contiene las bases teóricas que fueron investigadas para el desarrollo del presente proyecto integrador, aquí se detalla contenidos referentes al cultivo de mora, sistemas de riego, componentes de un sistema de control automatizado, IoT, y cloud monitoring, destacando estos tópicos como los pilares para el desarrollo e implementación del tema propuesto.

1.1. La Mora

Es una fruta originaria de las zonas templadas y frías de América del Norte y Asia, aunque, también se han encontrado de manera silvestre en centro y sur América (Finn y Clark, 2012). En Ecuador, estas plantas se encuentran en su mayoría en la Sierra Centro, concentrando su mayor producción en la provincia de Tungurahua.

Existen varios tipos de mora que son agrupados hasta en doce subgéneros, pero en Ecuador se cultiva solo la conocida Mora de Castilla. Según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, este tipo de mora tiene dos variantes: la mora con espinas y la mora sin espinas.

1.1.1. Características ecológicas

Existen dos características ecológicas importantes que se consideran en el crecimiento y desarrollo de la mora, éstas son: el *clima* y el *suelo* (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017).

Clima: La mora es una planta que se adapta mejor a zonas frías, con las siguientes características:

- *Altitud:* Entre 2500 y 3000 msnm. Para alturas superiores son propensas a las heladas (temperaturas inferiores a 5°C) mientras que para alturas inferiores pueden presentar problemas sanitarios.
- *Temperatura:* Su mejor desarrollo se da a temperaturas entre 8 y 22°C.
- *Humedad relativa:* Puede variar entre el 70 y 90%.
- *Luminosidad:* Necesita de 1200 a 1600 horas anuales de sol.

Suelos: La mora tiene un mejor desarrollo en suelos profundos, bastante sueltos con buena humedad y drenaje, con características como las siguientes:

- *Textura:* Pueden ser suelos de tipo franco, franco-arenosos o franco-arcillosos.
- *pH:* El mejor comportamiento de la planta se encuentra con un pH de 5,5 a 7. Esta característica define la disponibilidad de nutrientes para el cultivo.
- *Humedad:* Su rango óptimo oscila entre el 70 y 90%.
- *Profundidad:* Debe ser de al menos 1 m, considerando el desarrollo de su raíz.

1.1.2. Descripción botánica

La mora de Castilla, es perenne, es decir, luego de varios ciclos de crecimiento, envejece y muere. Es de tipo arbusto, trepadora, y posee tallos cilíndricos verdosos. Sus hojas tienen tres folíolos y flores rosadas y blancas, que producen los frutos. Sus raíces miden desde los 10 cm en su etapa inicial de crecimiento alcanzando hasta 1,20 m en su etapa final (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017).

En la base de la planta está la llamada corona, desde la cual se generan los tallos. Estos últimos miden de 1,5 cm a 2,5 cm de diámetro y alcanzan una altura de hasta 2 m. Sus frutos se forman en racimos, y cuando éstos maduran toman un color de rojo a rojo oscuro.



Figura 1-1. Mora

Fuente: (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina 2017)

1.1.3. Plantación de mora

Para plantar la mora, se considera inicialmente preparar el terreno, esto es, ararlo para dejarlo más suelto, nivelarlo hasta donde se pueda y eliminar la compactación para favorecer el drenaje. Además, para mejorar las condiciones fértiles del suelo se coloca materia orgánica y/o algún elemento que favorezca aquello.

Según el INIAP la distancia de plantación debe considerar factores como: fertilidad del suelo, condiciones ambientales, pendiente del terreno, variedad de la planta y sistema de riego. En la *Tabla 1-1* se muestran recomendaciones dadas por este Instituto sobre las distancias entre plantas y número de plantas que pueden ser sembradas según el tipo de lote de terreno.

Tabla 1-1: Distancias de plantación de Mora

Tipo de lote	Entre camas	Entre planta	Número de plantas por hectárea
Rectángulo	3,00 m	2,00 m	1666
Rectángulo	2,50 m	1,5 m	2666
Rectángulo	2,80 m	1,80 m	2000
Rectángulo	2,00 m	1,40 m	2920
Cuadrado	2,50 m	2,50 m	2000

Fuente: (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017)

Posterior a la preparación del terreno, se marcan los sitios donde se levantarán las camas en las que se plantarán las moras. La distancia recomendada es de 20 a 30 cm sobre la superficie del terreno, con un ancho de 80 a 100 cm (Muñoz, 2015).

Con las camas construidas se recomienda aplicar la técnica del acolchado, que consiste en cubrir las camas con material como plástico, aserrín, paja, cáscara de arroz, etc., con la finalidad de proteger el suelo de agentes climáticos y evitar el crecimiento de malezas que tanto daño hacen a los cultivos (Muñoz, 2015).

Fuente: (Área de estudio San Juan, 2021)



Figura 2-1. Camas – acolchado

El sistema de riego es el siguiente paso, puede ser por inundación, aspersión o goteo, si se implementa este último, conviene instalar el sistema antes de sembrar, para evitar sequía en la plantación. La disponibilidad de agua debe ser suficiente, ya que, en caso de no serlo, los frutos

bajan considerablemente su calidad. Además, debe ser uniforme, oportuna y en las cantidades adecuadas, de esa manera se promueve el desarrollo del cultivo.

1.2. Sistemas de riego

El exceso o falta de agua, puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas. Es por ello, que se debe seleccionar adecuadamente las técnicas de manejo de agua y el método de riego (Demin, 2014). Para ello se debe considerar las siguientes características:

- Factor de abatimiento: Se refiere a la cantidad de agua disponible en el suelo. Según el tipo de suelo (estructura y textura) los valores son los indicados en la *Tabla 2-1*.

Tabla 2-1: Cantidad de agua disponible en el suelo

Tipo de suelo	Capacidad de campo	Punto de marchitez	Humedad disponible
Arenoso	9%	2%	7%
Franco arenoso	14%	4%	10%
Franco	34%	12%	22%
Franco arcilloso	30%	16%	14%
Arcilloso	38%	34%	4%

Fuente:(Salto, 2015)

- Capacidad de campo y punto de marchitez: Son los valores que determinan los límites superior e inferior de la humedad en el suelo, aprovechada por las plantas. Se recomienda instalar dispositivos de lectura de humedad que indiquen si se encuentra o no dentro del rango adecuado.
- Sistema radicular de la planta: Se trata de la medida que alcanzan las raíces en sus diferentes etapas crecimiento.
- Tiempo y dosis de riego: Es el tiempo y la cantidad de agua que un cultivo necesita.
- Infiltración: Es el ingreso de agua en el perfil del suelo y depende principalmente de la textura de éste (Demin, 2014). La *Figura 3-1* muestra los patrones de infiltración según la textura del suelo y la *Tabla 3-1* indica los valores de la velocidad de infiltración según la textura del suelo.

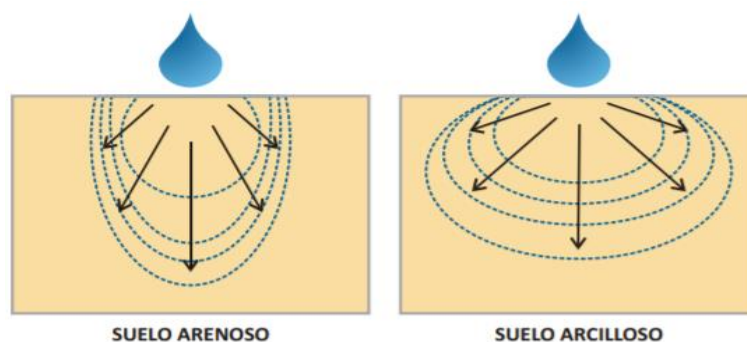


Figura 3-1. Patrones de infiltración según la textura del suelo
Fuente: (Demin, 2014)

Tabla 3-1: Velocidad de infiltración

Textura	Velocidad de infiltración (mm/h)
Arcilloso	< 5
Franco arcilloso	5 - 10
Franco	10 - 30
Franco arenoso	30 - 40
Arenoso	> 40

Fuente: (Demin, 2014)

De manera general, los sistemas de riego son estructuras compuestas por elementos como tuberías, mangueras y válvulas que se utilizan para llevar y distribuir el agua a determinadas áreas.

La infraestructura existente para regadío hoy en día, es en su mayoría consistente de canales y acequias, a través de las cuales se realizan las dotaciones hídricas, que son a su vez controladas bajo un determinado tiempo (Ruiz y Molina, 2019).

Esta realidad, obliga al agricultor a pensar en otras alternativas que le permitan almacenar y regular este recurso, de allí que se construyen pozos junto con sistemas de bombeo para suministrar el caudal necesario al cultivo.

Los tipos o métodos de riego vienen determinados por la necesidad del cultivo, por factores climáticos, aspectos físicos del terreno, entre otros (Ruiz y Molina, 2019). Los principales son:

1.2.1 Riego por superficie

La característica principal en este tipo de sistema es que el agua fluye a gravedad por el área de terreno hasta cubrir toda la parcela. Aquí no se necesita estructuras o elementos adicionales que

distribuyan el agua, ya que el propio terreno cumple esa función por sí solo (Faci González y Playán Jubillar 2014). Esto representa una ventaja económica para el agricultor debido a la simplicidad de la solución, ya que no necesita gastar en la compra e instalación de equipos para presurizar el agua, ni utilizar tuberías (Ministerio de Agricultura, 2018).

Pero, también presenta desventajas, como, por ejemplo, que el riego no es uniforme ni dosificado, ocasionando un bajo rendimiento en la producción, y un desperdicio del recurso hídrico, que provoca un efecto negativo en lo económico y ambiental. La *Figura 4-1* muestra un ejemplo de un sistema de riego por superficie.



Figura 4-1. Sistema de Riego por Superficie

Fuente: (Faci González y Playán Jubillar 2014)

1.2.2. Riego por aspersión

El riego por aspersión se caracteriza porque aplica una lluvia sobre un área determinada, que una vez que cae al suelo se infiltra. Este sistema de riego puede ser clasificado a su vez en: sistema estacionario y sistema mecanizado.

El primero, se caracteriza por mantenerse en una misma posición durante todo el tiempo que dure el riego. Mientras que el segundo, se desplaza para aplicar el agua de riego (Ruiz y Molina, 2019).

Ambos sistemas, incorporan diferentes tipos de aspersores, los cuales funcionan como emisores de agua. Los aspersores pueden clasificarse de la siguiente manera (Ruiz y Molina, 2019):

- a) *Según la velocidad de giro:* Pueden ser rápidos (con una velocidad mayor a 6 vueltas por minuto), y lentos (con una velocidad de 1 a 2 vueltas por minuto). Si se considera una misma presión, los de giro lento logran un mayor alcance que los de giro rápido, permitiendo un espaciamiento mayor entre aspersores.
- b) *Según el mecanismo de giro:* Pueden distinguirse mecanismos de reacción (aquí el giro lo determina la inclinación del orificio de salida), de turbina (el giro lo origina una turbina), de choque (aquí el chorro incide sobre un brazo con un muelle, haciendo que su giro sea intermitente).

c) *Según la presión de trabajo*: Los de baja presión (con presión menor a 2,5 Kg/cm²), de media presión (entre 2,5 y 4 Kg/cm²), y alta presión (superior a 4 Kg/cm²).

Para seleccionar adecuadamente un tipo de aspersor se debe considerar la manera cómo se aplica el agua. El objetivo es repartir uniformemente el agua entre los aspersores sobre el área que se desea regar. También es importante determinar la velocidad de aplicación del aspersor y la infiltración del agua en el terreno. La *Figura 5-1* muestra un sistema de riego por aspersión.



Figura 5-1. Sistema de Riego por Aspersión
Fuente: (Senninger, 2017)

El riego por aspersión también suele ser utilizado para el control de heladas, ya que al regar el agua desde arriba cubre a las hojas con una fina película de agua y contrarresta la deshidratación que sufren las hojas por las bajas temperaturas (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017).

1.2.3. Riego por goteo

Conocido también como sistema de riego localizado, se trata de un sistema que suministra agua a baja presión de manera lenta y uniforme, esto lo lleva a cabo a través de cintas o mangueras plásticas que se ubican cerca de las raíces de las plantas, las cuales poseen orificios cada cierta distancia por donde sale el agua (Shock y Welch, 2013).

Este sistema cubre las necesidades del cultivo y aumenta la calidad y rendimiento en la producción, reduciendo considerablemente el desperdicio de agua.

Con el sistema de riego por goteo, existe un menor contacto del agua con los tallos y frutos de la planta, mitigando la probabilidad de enfermedades en ésta. Y ya que la aplicación de agua se limita a la zona de la raíz es menos probable que elementos como el nitrógeno se pierdan del suelo. La *Figura 6-1* muestra un ejemplo del sistema de riego por goteo.



Figura 6-1. Sistema de riego por goteo

Fuente: (Demin 2014)

Por este sistema también se puede enviar los nutrientes a la planta, esto hace que su aplicación sea más precisa (Gujarro et al., 2018).

Sus componentes son básicamente cintas, mangueras, tuberías y emisores de goteo, cuyas características dependen del tipo de fabricante. La siguiente tabla muestra algunas especificaciones que se encuentran en el mercado:

Tabla 4-1: Tipos de sistema de riego por goteo

Tipo de sistema	Diámetro interno (cm) (pulg.)	Grosor de pared (mm) (mil)	Distancia entre emisores (cm) (pulg.)	Tasa de flujo de emisores (L/h) (gal/h)
Cinta de goteo	0,955-3,495 0,375-1,375	0,1-0,9 4-35	5-91 2-36	0,25-3,20 0,07-0,84
Tuberías de goteo con emisores interlineas	1,040-2,030 0,410-0,800	0,6-1,2 23-47	30-152 12-60	1,50-6,80 0,40-1,80
Mangueras duras con emisores a presión	0,32-3,8 0,125-1,5*	0,7-3,2 29-125	Diseño especial	1,90-15,15 0,50-4,0*

Fuente: (Demin, 2014)

Hay que tomar en cuenta que el sistema de bombeo debe ser adecuado a la cinta o manguera con la que se va a trabajar. Así también, se debe considerar la necesidad hídrica del cultivo para seleccionar la cinta, ya que el agua emitida por ésta debe llegar a las raíces de la planta.

Para establecer una comparación de la eficiencia de cada uno de los sistemas de riego descritos, a continuación, se presenta la *Tabla 5-1*.

Tabla 5-1: Comparación tipos de riego

	Riego por aspersión	Riego por surcos	Riego por goteo
Eficiencia de aplicación (%)	60	40	95
Vida útil de equipos (años)	5-7	Por temporada	10-15
Ahorro de agua (%)	40	30	80
Costo de instalación	Alto	Bajo	Alto
Costo mantenimiento	Alto	Bajo	Bajo

Fuente: (Paredes, 2017)

1.2.4. Unidad de presión

Es el mecanismo encargado de presurizar el sistema de riego, está formado principalmente por bombas y filtros.

Bomba: Es el elemento encargado de dotar de presión al agua para que alcance a regar hasta la planta más lejana. Sirve para extraer el agua de fuentes como pozos, reservorios, ríos, canales, y darle presión a la tubería (Demin, 2014).

Filtro: Es el encargado de la limpieza y purificación del agua, antes de ser distribuida a través de la red de tuberías. Además evita la obstrucción del sistema por impurezas (Orellana y Jazmín, 2018)

A continuación, se presenta la *Figura 7-1* con el ejemplo de un sistema de presión para riego por goteo, donde se puede observar una primera etapa con un pre-filtro, seguido de una estación de bombeo con prevención de reflujos, respiradero para la descarga de vacío, un punto para inyección de elementos químicos y una válvula reguladora de presión.

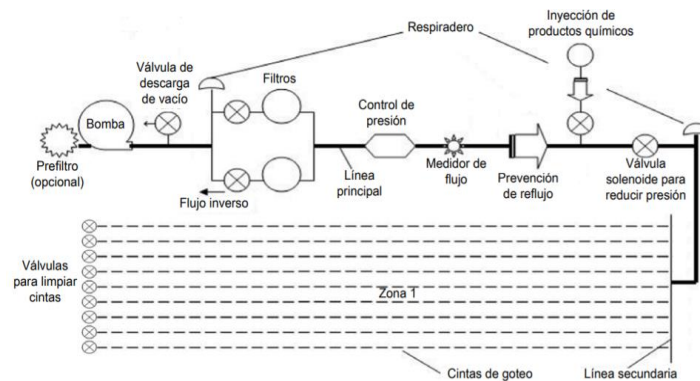


Figura 7-1. Unidad de presión

Fuente:(Anaya et al., 2017)

1.3. Automatización en la agricultura

La alta tecnología está transformando los trabajos más antiguos del planeta como la agricultura, en modernas aplicaciones que promueven una agricultura sostenible y sustentable.

La automatización juega un papel importante en la agricultura, el introducir aplicaciones en una perspectiva más amplia, está permitiendo integrar elementos del agro con los principios de la industria 4.0. Esto ha hecho, que se empiece a reconocer a la agricultura como la siguiente revolución industrial.

Pero no se trata solo de un factor evolutivo sino de las necesidades concretas de nuestro tiempo, ya que en los próximos 30 años la demanda de alimentos aumentará en un 70%, por lo que será necesario aumentar y mejorar la producción, limitando el impacto que se pueda ocasionar en el medio ambiente (Kiruthika y Umamakeswari, 2018).

La buena administración del agua, el control sobre los cultivos, el monitoreo de éstos, los softwares para mejorar el rendimiento de cultivos, la inteligencia artificial, son apenas pocos ejemplos de lo que se puede conseguir introduciendo automatismos y tecnicismos en el sector agrícola.

La aplicación de nuevas tecnologías en el campo está permitiendo un mejor manejo de todos los componentes que forman parte de la cadena de valor en la agricultura. El proceso de cultivo, su mantenimiento, control y monitoreo ahora ya puede ser ejecutado con técnicas de automatización (Martinez y Soto, 2010).

1.3.1. Sistema de control automático

El control automático de procesos ha estado en constante evolución, dando pasos agigantados a nuevas tecnologías de medición y control aplicadas a todo ambiente, ya sea industrial, agrícola, ambiental, entre otros.

El principio de todo sistema de control automático es la aplicación del concepto de realimentación o feedback, cuya principal característica es la de mantener informado al controlador central sobre el estado de las variables, para así generar acciones de acuerdo a lo programado (Abarca, 2006).

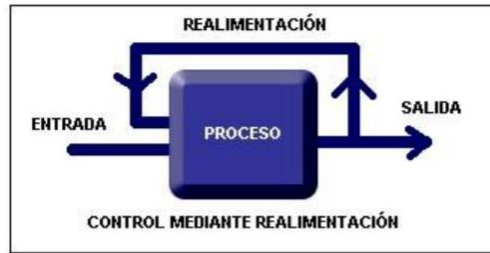


Figura 8-1. Unidad de presión

Fuente: (Abarca, 2006)

El lazo de control realimentado es la trayectoria cerrada formada por un sensor, un controlador y un elemento final de control. (Abarca, 2006)

1.3.2. Componentes del control

Son aquellos elementos que forman parte del sistema de control automatizado en su etapa de adquisición de datos (sensores), procesamiento de información (controladores) y activación de actuadores.

1.3.2.1. Sensor

Es aquel elemento que mide una variable física de interés y proporciona una respuesta que generalmente es de tipo eléctrica. Posee características estáticas como: linealidad, sensibilidad, rango, repetitibilidad, offset (desviación de cero), exactitud, precisión, resolución, histéresis; y características dinámicas como: velocidad de respuesta, estabilidad, respuesta frecuencial, entre otras, que condicionan su selección (Universidad de Tarapacá, 2014). Además, existen de diferentes tipos, por ejemplo, de acuerdo a la variable que se desee medir: temperatura, humedad, lluvia, nivel, posición, desplazamiento, velocidad, fuerza, presión, caudal, etc.

Los sensores más utilizados en el sector agrícola son los que realizan lecturas de variables relacionadas a las características climáticas y a las condiciones de los suelos.

- ***Sensores de Temperatura:*** Son aquellos elementos que miden la temperatura, basándose en propiedades termométricas. Y, aunque todos estos funcionan de manera similar, existen pequeñas diferencias que determinan su selección (Abarca, 2006). La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de sensores, en función del tipo de proyecto a los que van dirigidos.

Tabla 6-1: Sensores de Temperatura

Sensores de temperatura para proyectos con microcontroladores	
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Son utilizados para proyectos de robótica y automatización agrícola. • Poseen una interfaz sencilla, son precisos y tienen un tiempo de respuesta rápido. • Ejemplos de éstos son: LM35, TMP36, TC74, DHT11, DHT21.
Sensores de temperatura para proyectos con miniordenadores y PLCs	
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Poseen características y funcionalidades específicas para el sector industrial. • Miden en entornos con grandes fluctuaciones y con mucha precisión. Son elementos costosos. • Ejemplos de éstos son: SHT15, TERMOCUPLA TIPO-K.
Sensores de temperatura con características especiales	
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Detectan movimientos o número de personas en una habitación. • Miden la temperatura en un campo de 90° de visión. • Ejemplos de éstos son: MLX90614ESF, TPA81, D6T MEMS.

Fuente: (Abarca, 2006)

- **Sensores de Humedad:** Son aquellos dispositivos que miden la humedad en un área determinada, generalmente su lectura viene dada en porcentaje volumétrico. Para sensores de humedad de suelo, se puede considerar dos tipos de sensores: capacitivos y resistivos (Jimenez y Vano, 2013).

Tabla 7-1: Sensores de Humedad

Sensores de humedad capacitivos	
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizan sus datos de lectura muy rápido. • Se ven poco afectados por condiciones físicas del suelo como las sales, lo que los hace aptos para determinar condiciones reales de los suelos.
Sensores de humedad resistivos	

Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Tardan en estabilizar su lectura, presentando variaciones aleatorias de éstas. • Se necesita constante calibración ya que se ven afectados por las características hídricas del suelo. • Son de fácil acceso en el mercado.
-------------------------	---

Fuente: (Jimenez y Vano, 2013)

- **Sensores de Lluvia:** Son aquellos dispositivos que detectan la presencia de lluvia mas no miden la cantidad de ésta (Perdigones et al., 2004). Las gotas de lluvia activan el circuito, lo que hace que el actuador se active o desactive.

1.3.2.2. Controlador

Es el elemento inteligente dentro del sistema de control, éste recibe la información generada desde los sensores, lo procesa, y en función de su programación, envía órdenes a los elementos finales de control que son los actuadores (Guijarro et al., 2018).

Existe una gran variedad de controladores, los cuales se seleccionan de acuerdo al grado de control, manejo de variables y procesamiento de información que se necesite en el sistema. A continuación, se presenta los tipos de controladores más conocidos:

Tabla 8-1: Tipos de controladores

Tipo	Características
Microcontroladores	Son tarjetas de desarrollo open source que permiten conexiones entre el microcontrolador y diferentes dispositivos externos como sensores y actuadores. Corre sobre múltiples plataformas como: Linux, Windows y Mac OS. Utiliza C++ como su lenguaje de programación; y es de bajo costo. Ej.: Arduino.
Miniordenadores	Actúa como un ordenador, y realiza multitareas, lo que permite que pueda ejecutar al mismo tiempo varios programas. Su lenguaje de programación es Python y Scratch. Trabaja sobre la plataforma de Linux. Ej.: Raspberry Pi.
Controlador Lógico Programable PLC	Es un dispositivo electrónico robusto, modular que maneja una programación en ladder o bloques de


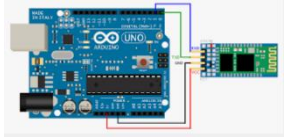



	función. Posee E/S digitales y analógicas. Y su principal uso se da en las industrias. Es costoso.
--	--


Fuente:(Mahajan y Sultana, 2019)

- **Arduino**

Es una plataforma de código abierto que proporciona una base sólida para hardware y software. Es ampliamente usado en la automatización del sector agrícola. Se basa en un microcontrolador que permite crear dispositivos y proyectos mediante la integración de varios tipos de sensores y actuadores (Barrett, 2013). La *Tabla 9-1* muestra una clasificación de éste:

Tabla 9-1: Clases de Arduino

Tipo	Características	Gráfico
Arduino Mega	Es el más potente, con 54 E/S digitales, se basa en el ATmeg1280. Con cristal oscilador de 16 MHz.	
Arduino Bluetooth	Posee un módulo de transmisión de datos de hasta 100m, la programación se realiza sin cables.	
Arduino Pro	Robusto y con un buen acabado, tiene un conector especial de batería. Sus componentes son de superficie y es muy delgado.	
Arduino Nano	Es una tarjeta cuyo controlador es el ATMega328. Puede ser colocado directamente sobre un protoboard. Posee 14 E/S digitales, 6 analógicas y un cristal de 16 MHz. Posee un USB HID.	
Arduino Uno	Es la placa estándar y más utilizada, su microcontrolador es un ATMega328 de 32 Kbytes de memoria ROM. Y tiene las	

	mismas funcionalidades del Arduino Nano.	
Arduino Mini	Tiene las funcionalidades del Arduino Uno, pero de tamaño reducido.	

Fuente: (Barrett, 2013)

1.3.2.3. Actuadores

Son dispositivos que transforman un tipo de energía en otra que activa un proceso. Reciben la orden de un controlador y generan un efecto sobre dicho proceso. Los actuadores pueden ser de tipo electrónico, eléctrico, neumático, hidráulico (Universidad de Tarapacá, 2014).

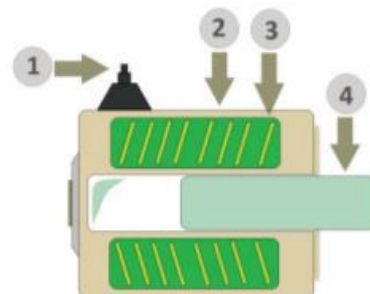
Para sistemas de control de riego los actuadores utilizados son específicamente las válvulas solenoides.

- **Válvula solenoide**

Un solenoide es un dispositivo eléctrico que funciona bajo el principio de un electroimán, es decir, cuando la corriente eléctrica pasa a través de un alambre o bobina se produce un campo magnético, que genera una fuerza capaz para mover hacia adentro o hacia afuera el émbolo o pistón (Mahajan y Sultana, 2019).

El cuerpo del solenoide consta principalmente de una bobina enrollada de cobre o cualquier aleación conductora que está aislada con una capa generalmente de mica, y un émbolo o pistón que es la parte del solenoide que tiene movimiento libre (Mahajan y Sultana, 2019).

El objetivo de un solenoide es controlar el flujo de agua que es activado de manera eléctrica. Su funcionamiento es de tipo ON-OFF.



1. Alambres de plomo
2. Cuerpo del solenoide
3. Bobinado
4. Émbolo o pistón.

Figura 9-1. Arquitectura válvula solenoide

Fuente:(Mahajan y Sultana, 2019)

1.4. Internet de las cosas (IoT)

El rápido desarrollo de la tecnología actualmente gira de forma significativa en torno al Internet de las cosas (IoT) (Kiruthika y Umamakeswari, 2018).

En el escenario actual, IoT juega un papel importante en diferentes campos como la agricultura, finanzas, hogares inteligentes, automatización industrial, ciudades inteligentes, entre muchos otros (Thalluri et al., 2020).

El IoT es un enfoque innovador que conecta varios dispositivos a través de Internet y utiliza dicha interconexión para implementar funciones altamente beneficiosas (Kjellby et al., 2019).

IoT se describe como un sistema de interrelación de objetos (es decir, actuadores, sensores, etc.) provistos de internet, que tienen la capacidad de transmitir los datos a través de una red que se supervisa y controla de forma remota en cualquier momento y en cualquier lugar de la aplicación en tiempo real, mejorando así la productividad y eficiencia, y promoviendo la reducción de errores humanos así como el tiempo y el costo (Thalluri et al., 2020).

Al implementar dispositivos de IoT en la agricultura, se puede controlar parámetros críticos como su humedad, el pH del suelo, y además se puede medir el contenido de nutrientes, registrándolos y analizándolos para optimizar su rendimiento. Estos parámetros pueden ser utilizados para prevenir la fertilización excesiva o el riego excesivo con mucha antelación (Kjellby et al., 2019). Evitar el riego excesivo es fundamental en áreas con suministro de agua limitado.

Los elementos de IoT también pueden ser utilizados para implementar técnicas de agricultura de precisión, la cual se centra en medir las propiedades del suelo y utilizar un muestreo de las mediciones para optimizar la gestión del suelo.

1.4.2. Plataformas de desarrollo de IoT

Muchas organizaciones han adoptado a IoT como su estrategia de digitalización. Esto se debe a su enorme potencial tecnológico y al avance continuo de muchas marcas que han ido introduciendo software de uso efectivo (Muhammed y Ucuz, 2020).

Las plataformas IoT son las que integran la multi tecnología utilizada en IoT en una sola herramienta para facilitar su gestión, es decir, todos los elementos que componen un sistema IoT se conectan a través de un solo software.

Desde la perspectiva de los usuarios, a continuación, se presenta a los proveedores de plataformas en la nube de IoT, considerados como los más importantes (Hariyati, 2017).

- *Amazon Web Services*: Posee el mejor paquete de servicios en la nube, que van desde almacenamiento hasta desarrollo integral de instrumentos. Aunque es el más costoso, tiene la mayor cuota de mercado entre todos los proveedores. Los dispositivos conectados a AWS pueden comunicarse con aplicaciones que se ejecutan en la nube usando el protocolo de transferencia de hipertexto, mensaje de transporte de telemetría en cola y WebSockets (Hariyati, 2017)
- *Microsoft Azure*: Ofrece servicios de aplicaciones móviles, almacenamiento, plataformas de mensajería y máquinas virtuales. Es el segundo proveedor más exitoso en IoT con la plataforma de IoT más grande del mercado: Azure IoT Hub, Azure IoT Edge, Azure IoT Central, Azure IoT Solution Accelerators, las cuales son las cuatro características clave que conforman su plataforma (Muhammed y Ucuz, 2020).
- *Google Cloud*: Como las plataformas anteriores, ofrece una amplia gama de servicios en la nube donde sobresale los motores de aprendizaje para servicios de base de datos orientado a documentos. Sus servicios principales son: Cloud IoT, Cloud Pub/Sub y Cloud Iot Borde (Muhammed y Ucuz, 2020).
- *ThinkSpeak*: Es una plataforma open source de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube. Permite además enviar datos desde dispositivos, crear una visualización instantánea y enviar alertas (Brashdi et al. 2018). Ofrece un hosting en la nube, gestionado por MathWorks y permite realizar pronósticos de datos obtenidos de las lecturas de elementos como sensores, utilizando la interfaz de Matlab. Dichos datos son almacenados en canales privados o públicos que pueden ser compartidos a otros usuarios. Es compatible con Arduino, Wifi ESP8266, raspberry Pi. (Kiruthika y Umamakeswari, 2018).
- *Carriots*: Es una plataforma de servicios diseñado para el Internet de las Cosas y proyectos M2M. Utiliza la API Rest para crear aplicaciones de gestión de recursos (Bennet Praba et al., 2018).

A continuación, se presenta la *Tabla 10-1* la cual compara algunas características de las plataformas de IoT descritas, más varias que se encuentran disponibles en el mercado con licencia pagada, gratuita y de código abierto:

Tabla 10-1: Plataformas IoT y sus propiedades.

Plataformas IoT	Open Source	Visualización rápida de datos	Escalabilidad	Análisis	Administración de datos	Almacenamiento de bases de datos	Seguridad
AWS IoT		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Microsoft Azure IoT Suite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Google Cloud IoT		✓	✓	✓	✓	✓	✓
IBM Watson IoT		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Thingspeak	✓	✓		✓	✓	✓	
GE Predix			✓	✓			✓
Kaa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Macchina.io	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ubidots		✓	✓	✓	✓	✓	
Carriots		✓	✓	✓		✓	
MyDevices		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Temboo		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Initial State	✓	✓	✓	✓	✓		
Thinger.io	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Fuente:(Hauser y Wesner, 2018)

MCU ESP 32: Se trata de un módulo inalámbrico Wifi-bluetooth que permite conectar equipos utilizados en la automatización a plataformas IoT(Zhao et al., 2010).

1.5. Cloud Monitoring

Generar información de valor para optimizar procesos, no solo significa almacenar datos sino tener acceso a éstos en tiempo real, integrando los procesos y la comunicación a través de herramientas informáticas amigables (Ward y Barker, 2014).

El monitoreo de datos es un aspecto importante de los sistemas a toda escala, que la computación en la nube facilita. Las soluciones de monitoreo desde la nube transfieren y guardan todas las métricas de los elementos observados, en bases de datos organizados por series temporales (Hauser y Wesner, 2018). Además, ofrecen características importantes que tienen que ver con:

- Generación de Alerta
- Asignación de recursos
- Visualización

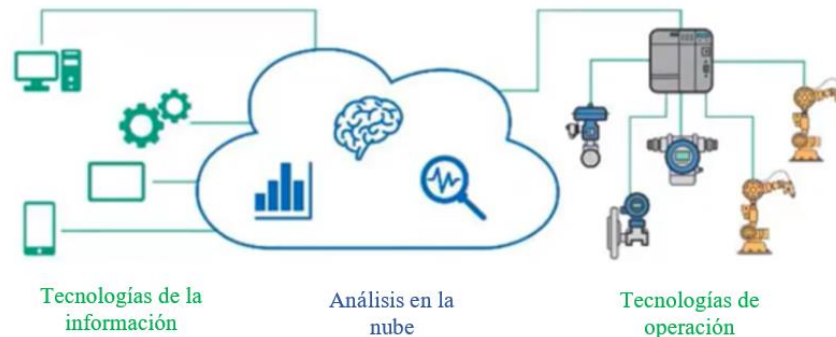


Figura 10-1. Computación en la nube
Fuente:(Mahajan y Sultana, 2019)

Con el desarrollo de la computación en la nube, se han ido desarrollando más recursos, como las características de diversidad y dinámica de los servidores, que en la última temporada ha ido evolucionando hacia un almacenamiento distribuido, que hace que el monitoreo en la nube sea escalable, característica importante para evitar saturar equipos, mejorando la eficiencia de las consultas, asegurando la estabilidad de la plataforma en la nube y la calidad de los servicios (Hauser y Wesner, 2018).

1.6. Herramientas de desarrollo de aplicaciones móviles

El teléfono móvil se ha convertido en una herramienta imprescindible en nuestras vidas, desde la cual, se desea acceder a casi todo. Es por ello que día a día siguen apareciendo más softwares de desarrollo de aplicaciones móviles que permiten al usuario generar código con menos esfuerzo, es decir, no recurrir a la molesta programación con la que generalmente no se está familiarizado.

Existen en el mercado varias herramientas de desarrollo de aplicaciones móviles que permiten diseñar, desarrollar y gestionar aplicaciones.

A continuación, se presenta la *Tabla 11-1* que muestra una comparación de los softwares más utilizados para desarrollar aplicaciones Android, esta información fue extraída de una investigación desarrollada por la Universidad Politécnica de Cartagena cuyo autor es el Ing. Raúl García Pérez.

Tabla 11-1: Softwares para aplicaciones móviles Android

Herramientas	Funcionalidad	Ambiente apps	Andromo	Appmarkr	Apps Builder	Apps Geyner	Appyet	Buzztouch	Creapp	Ibuildapp	MIT App Inventor	Mobicube	Nimbo solutions	Octopus	Rhefi	Shoutem
	Compartir contenido	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x
	Envío de SMS	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	✓	x	x	✓	x
	Relación de llamadas	✓	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
	Ubicación	x	x	x	x	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	x
	Visualización PDF	x	✓	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x
	Envío de correos	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Cloud	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Código QR distribución	x	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Integración con redes sociales	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
	Contenido HTML	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	✓
	Contenido multimedia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Descargas	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	x	✓	x
	Encuestas	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓	x	x	✓	✓	x	x	x
	Estadística de uso	✓	x	✓	x	✓	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	x
	Gestor de pedidos	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x
	Gestor de reservas	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x
	GPS	x	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x
	Lector QR	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x
	Mapas	x	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
	Soporte	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓

Tienda móvil	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	x
Uso de cámara del dispositivo	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	x
Uso de otros proveedores	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
Video en directo	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
YouTube	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	✓	✓
Web embebida	✓	✓	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
Podcasting	x	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
Navegación web	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
Aplicaciones ilimitadas	x	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: (García y Pérez, 2020)

CAPÍTULO II

2. PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO

En este capítulo se describe la metodología aplicada que permitió cumplir los objetivos planteados del presente proyecto integrador, que hacen referencia al control automático de las principales variables que intervienen en el cultivo de la mora, a través de la automatización de los sistemas de riego, además, la aplicación del cloud monitoring de las métricas generadas en los sistemas automatizados, con la opción alterna de realizar este monitoreo desde una aplicación móvil. Toda la implementación del sistema se la denominó *Morautomation*.

2.1. Requerimientos del Sistema Morautomation

Morautomation cumple y satisface los siguientes requerimientos:

- Mide los valores de humedad de suelo y temperatura ambiente del área donde se encuentra el cultivo de mora.
- Activa de manera automática el sistema de riego por goteo, de acuerdo al control de la variable humedad de suelo.
- Controla la helada, a través de la activación del sistema de riego por aspersión, en función del comportamiento de la variable temperatura ambiente.
- Desactiva los sistemas de riego por goteo y aspersión ante la presencia de lluvia.
- Proporciona información en tiempo real de los valores de humedad de suelo, temperatura ambiente y presencia de lluvia, así como también de la activación y desactivación de los sistemas de riego.
- Almacena en la nube la información generada por el sistema Morautomation.
- Permite acceder a través de una aplicación móvil a los datos del sistema Morautomation.

2.2. Tareas de investigación

Para cumplir con los objetivos trazados, se llevaron a cabo las siguientes tareas de investigación:

- Búsqueda de la información para la identificación de las variables relevantes que fluyen en el cultivo de la mora.
- Diseño e implementación de un sistema de control de riego por goteo y por aspersión, conforme a las señales generadas desde varios sensores de diferente tipo.

- Integración del sistema de control a una plataforma cloud, aplicando conceptos de la Industria 4.0.
- Desarrollo de una aplicación en un dispositivo móvil para acceder a la lectura de los datos generados desde el sistema de control.
- Pruebas en campo del sistema de control, y, monitoreo de datos desde la nube.
- Valoración de resultados.

2.3. Concepción del Sistema

MorAutomation, como así se lo denominó al proyecto integrador, consistió en diseñar e implementar la automatización de dos sistemas de riego por goteo y aspersión, para que realicen un control inteligente y adecuado de las variables que intervienen en el cultivo de la mora, considerando aspectos de la ecología del sitio donde se desarrolló la implementación. Además, gracias a los conceptos introducidos por la Industria 4.0 se pudo aplicar el cloud monitoring, lo que permitió monitorear en tiempo real los datos generados desde los sistemas de riego controlados. El desarrollo de una aplicación en un dispositivo móvil facilitó el acceso a la lectura de los datos del sistema desde cualquier punto remoto. La *Figura 1-2* muestra lo mencionado.

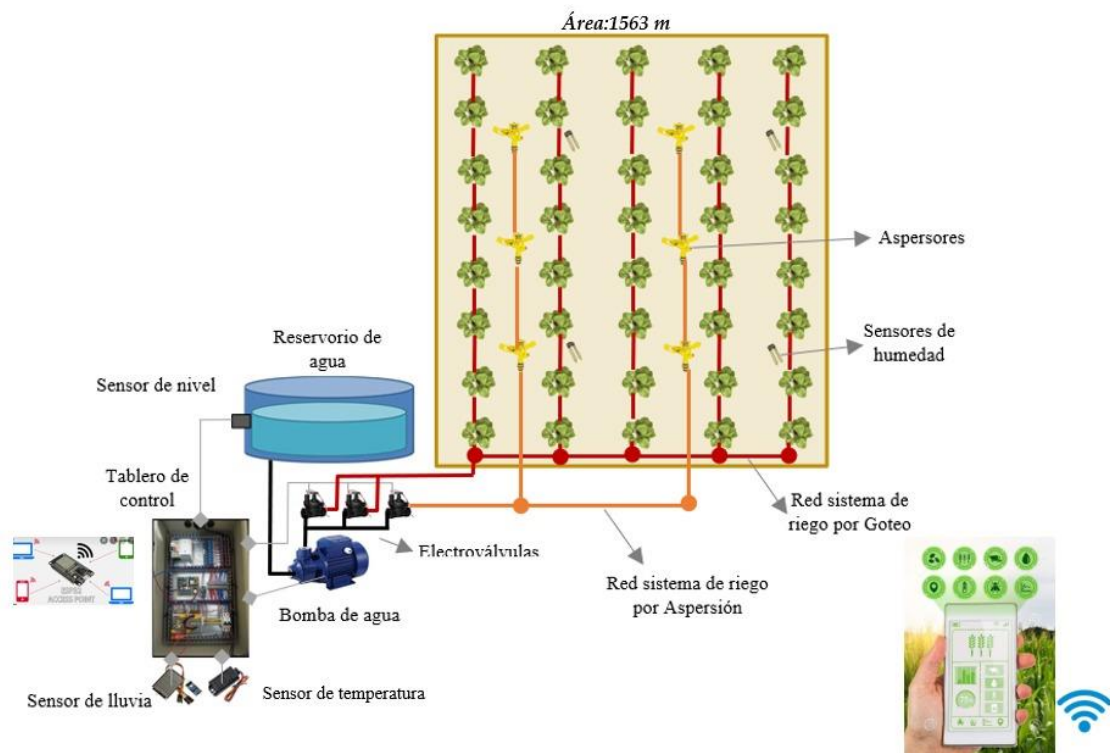


Figura 1-2. Concepción del sistema
Fuente: (Pérez y Castillo, 2021)

Para una mejor comprensión, este desarrollo se lo dividió en cuatro fases, las cuales están descritas a continuación:

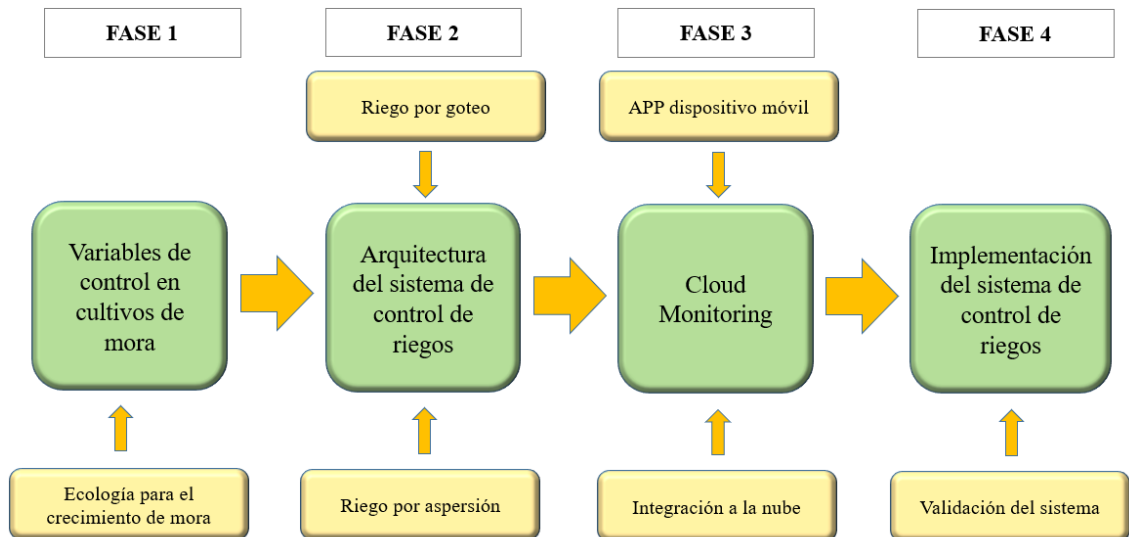


Gráfico 1-2. Fases de desarrollo del proyecto integrador
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

2.4. FASE 1. Variables de control en cultivos de mora

2.4.1. Caracterización del área de Estudio

La investigación se desarrolló en un lote de terreno de un área de 1563 m² ubicado en:

- Provincia: Chimborazo
- Cantón: Riobamba
- Parroquia Rural: San Juan
- Barrio: Santa Marianita
- Altitud: 3242,7 msm
- Latitud: 1°37'47.29"S
- Longitud: 78°47'12.32"W

La *Figura 2-2* muestra una fotografía satelital de la ubicación geográfica del área de estudio.



Figura 2-1. Ubicación geográfica del terreno

Fuente: (Google Maps, 2020)

Las condiciones climáticas y de suelo son:

- Temperatura promedio anual: 14°C
- Precipitación promedio anual: 800 mm
- Humedad relativa promedio: 82%
- Clasificación Ecológica: Bosque húmedo sub alpino.
- Textura de suelo: franco arenoso.

(GAD San Juan, 2020)

2.4.2. Selección de las variables de control

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada en el capítulo anterior, son dos los elementos que definen directamente el desarrollo de las plantas de mora: *las condiciones del suelo y las características climáticas*. Éstas son consideradas como factores directos que estimulan su crecimiento y logran una buena producción maximizando el rendimiento por unidad de espacio.

La variable de control que se ligó a la condición del suelo fue la **Humedad** y la variable ligada a las características climáticas fue la **Temperatura ambiente**.

Cabe aclarar que en las condiciones de suelo también se pueden considerar elementos químicos, sin embargo, el alcance de esta investigación en cuanto a las características del suelo, se limitó a la variable *Humedad*, ya que el manejo químico es propio de un especialista agrónomo, por lo tanto, su control no es ámbito de esta investigación.

A partir de aquí se empieza con el tratamiento de cada una de estas variables: *humedad y temperatura ambiente*, y el tipo de sistema de riego asociado para su control.

2.4.3. *Instalación del sistema de riego por goteo*

Al hablar de *Humedad*, se refiere al agua que debe contener el suelo, como un factor importante dentro del crecimiento de la planta. Porque, no se trata simplemente de regar las plantas, sino de suministrar la cantidad adecuada de agua en el momento preciso. Para ello fue importante seleccionar un sistema de riego que permita la aplicación de agua de manera controlada en cada planta. El sistema seleccionado fue el *sistema de riego por goteo*.

Para realizar la instalación de este sistema se ejecutó lo siguiente:

2.4.3.1. *Preparación del terreno*

Con el apoyo de un tractor se niveló el terreno utilizando la rastra, evitando de esa manera encharcamientos que pudieran obstruir el recorrido del agua, garantizando, además, que el fluido que recorre por la cinta de goteo alcance hasta la última planta sembrada. También, y con el objetivo de mejorar la calidad del suelo, se lo desinfectó aplicando cal agrícola sobre éste. La *Figura 3-2* muestra el trabajo realizado por el tractor.



Figura 3-2. Nivelación del terreno
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

2.4.3.2. *Elaboración de camas y colocación de cinta de goteo*

Con el terreno nivelado y libre de impurezas, se procedió con la elaboración de 10 camas para 457 plantas de mora. Esta cantidad de camas se obtuvo tomando en cuenta las dimensiones del terreno y las recomendaciones del INIAP para su cálculo, donde indica que la distancia entre camas puede ser de 2 metros, y entre plantas de 1.40 metros.

En la *Figura 4-2* se muestra el diseño realizado en SolidWorks de la cantidad de camas y plantas calculadas.

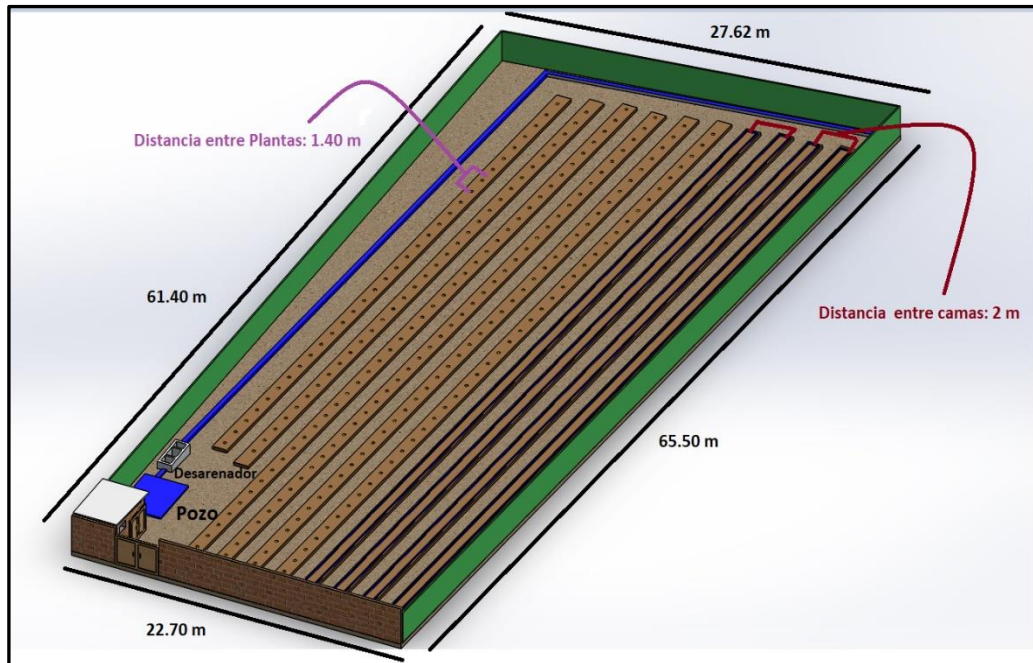


Figura 4-2. Diseño de camas en SolidWorks
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La *Figura 5-2* muestra la elaboración de camas y la colocación de la cinta de goteo sobre éstas. Como se puede observar, se colocan dos cintas de goteo a lo largo de cada cama.



Figura 5-2. Elaboración de camas y colocación de cinta de goteo

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

2.4.3.3. Colocación de acolchado y sembrado de la planta de mora

Tras haber realizado las camas y haber colocado la cinta de goteo, se continuó con el cubrimiento de un plástico fino a cada cama, lo que se conoce como acolchado. Esta técnica se aplicó para mantener las plantas de mora limpias y libres de maleza, así como también para conservar su humedad. Seguido a esto, se sembró las plantas de mora, como así lo muestra la *Figura 6-2*.

Figura 6-2. Colocación de acolchado y sembrado de plantas

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)



2.4.3.4. Construcción del pozo

Todo sistema de riego necesita una fuente de abastecimiento hídrico, para este caso, se construyó un pozo, cuyo objetivo fue justamente el almacenamiento de agua. Las dimensiones del pozo fueron calculadas siguiendo las recomendaciones del INIAP que menciona, que por cada hectárea de cultivo debe haber una reserva de al menos 160 m³ de agua (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017).

Por lo tanto, para 1563 m² que mide el terreno de estudio, correspondieron aproximadamente 24 m³ de agua. La siguiente ecuación permitió ajustar las dimensiones del pozo para lograr esa capacidad de almacenamiento.

$$\text{Volumen} = \text{Largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

$$\text{Volumen} = 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 24000 \text{ litros}$$

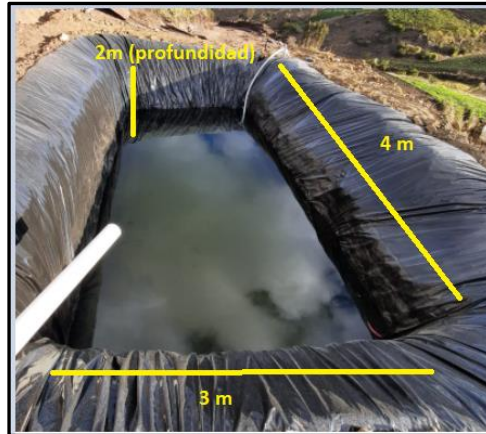


Figura 7-2. Pozo de agua
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Se construyó además un *Desarenador* que funcionó como filtro de agua, antes de que ésta ingrese al pozo. Se tomó esta consideración ya que, en la parroquia de San Juan, el agua de riego llega con muchas impurezas. Su función fue la de captar arenas y sólidos que vienen en suspensión con el agua, y asentarlas por gravedad.



Figura 8-2. Desarenador
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

2.4.3.5. Instalación del sistema de bombeo

Para dotar y repartir el agua a todo el cultivo, fue necesaria la instalación de un sistema de bombeo, que por un lado aspire el agua almacenada en el pozo y por otro, impulse ésta a través de una fuerza motriz a toda la red de tuberías instalada. Es decir, este sistema, constó de dos fases: Aspiración e Impulsión. La *Figura 9-2* muestra lo mencionado.



Figura 9-2. Sistema de Bombeo
 Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La bomba eléctrica utilizada fue de 2 HP, 220 V, 8A, de una entrada y una salida, que incluyó un filtro tanto en el lado de aspiración como de impulsión. Tanto la tubería de entrada de la bomba, es decir, la que conectó al pozo; y la tubería de salida, esto es, la que se conectó a la red de distribución principal fueron de una dimensión de 2", ésta última se conectó a su vez con cada una de las cintas de goteo instaladas en las camas, formando así una red de distribución secundaria que llegó hasta las plantas. La *Figura 10-2* muestra la distribución de tuberías.



Figura 10-2. Distribución de tuberías
 Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Se utilizaron tres electroválvulas (válvulas selenoides) a la salida de la bomba de agua para controlar el sistema de riego. Dos de éstas para controlar de manera específica el sistema de riego por goteo (V1 para Zona 1 y V2 para Zona 2), y la restante se instaló para controlar el sistema de riego por aspersión (V3 para Zona 1 y 2), la *Figura 11-2* muestra lo descrito.

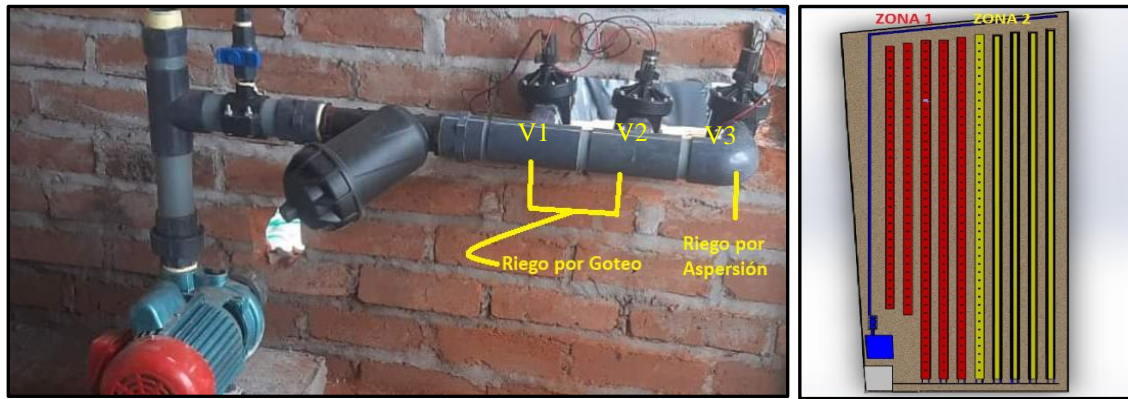


Figura 11-2. Electroválvulas Hunter 1 ½” – Distribución de zonas
 Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

2.4.4. *Instalación del sistema de riego por aspersión*

La instalación de un sistema adicional de riego fue considerada para controlar otra de las variables importantes en el cultivo de la mora y que está ligada a las características climáticas, esta es, la *Temperatura Ambiente*.

Como ya se revisó en el capítulo anterior, la mora se ve afectada cuando se encuentra a temperaturas bajas, lo que comúnmente se conoce como heladas. Las heladas se presentan cuando la temperatura ambiente es cercana o inferior a los 5°C (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017). En esta situación, las hojas de la mora sufren deshidratación, por lo que es importante contrarrestar dicha problemática hidratando esta parte sensible de la planta para evitar su muerte.

De allí, que surgió la necesidad de instalar un sistema de riego por aspersión, para que riegue el agua por la parte superior de las plantas, alcanzando así a sus hojas.

Para ello se instalaron aspersores que fueron ubicados en 16 puntos del terreno, considerando su radio de aspersión para cubrir toda el área de cultivo.



Figura 12-2. Riego por aspersión
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Los aspersores utilizados fueron los xcel-wobbler cuya característica principal es su mecanismo de giro, que posee un deflector ranurado, lo que permite un riego muy uniforme a presiones bajas.

Cabe mencionar que un sistema de riego por aspersión es tan solo una de las formas de contrarrestar la helada, ya que existen algunos otros métodos que se los practica artesanalmente como: generación de humo (provocado por la quema de madera, llantas o paja), utilización de plásticos colocados sobre las plantas para cubrirlas durante la noche, abrigos aislantes, entre otros.

Se seleccionó la técnica de aspersión, ya que es la menos agresiva contra el medio ambiente y además se aprovechó la infraestructura instalada para el sistema por goteo.

2.5. FASE 2. Arquitectura del sistema de control de riegos

Como ya se indicó, las variables establecidas para ser controladas dentro del cultivo de la mora fueron: *Humedad* y *Temperatura*.

Para ello se instalaron dos tipos de sistema de riego: *por goteo* y *por aspersión*. El primero que sirvió para controlar la *Humedad* y el segundo para controlar la *Temperatura Ambiente*.

Pero, si el sistema de riego no posee un elemento de control inteligente que le permita actuar automáticamente cuando las condiciones así lo requieran, no se está hablando aún de un sistema automatizado.

Es por ello, que se incorporaron dispositivos tecnológicos que permitieron gobernar su funcionamiento a través de un sistema de control automático. Estos dispositivos fueron los “sensores” capaces de reaccionar ante las situaciones presentadas en su entorno, generando la información necesaria para a través de un “dispositivo inteligente” activar o no por un determinado tiempo los sistemas de riego instalados.

2.5.1. Arduino nano

El controlador seleccionado para este sistema fue el Arduino Nano, se eligió trabajar con éste por su facilidad de programación y por presentar las características básicas necesarias para el proyecto, como son: E/S digitales, analógicas, disponibilidad para conexión wifi, fácil para realizar pruebas en protoboard, de bajo costo y accesible en el mercado. En el *Anexo A*, se adjuntan sus especificaciones técnicas.

2.5.2. Sensor de humedad FC-28

Este sensor permitió medir la humedad del suelo de acuerdo con la variación de su conductividad. Para obtener una lectura más precisa se instalaron cuatro (4) sensores FC-28 que fueron repartidos en cada uno de los cuatro cuadrantes del terreno. Estas lecturas fueron promediadas, y sobre ese valor actuó el Arduino.

Aunque se conoce que la humedad del suelo en la parroquia de San Juan por ser de tipo franco arenoso es en promedio de 80%, estos sensores sirvieron para tener un mejor control de los valores de la humedad. Si se colocaban más sensores, la lectura obtenida aumentaría la precisión.

Se los enterró a diferentes profundidades con el fin de monitorear el valor de humedad a lo largo del cultivo, considerando una profundidad inicial de 10 cm ya que es la medida de la raíz efectiva de la planta de la mora en la etapa inicial de crecimiento. A los sensores se los colocó dentro de unas cajas de protección, dejando por fuera tan solo los dos electrodos. Gracias a esta protección se pudo enterrarlos sin afectar su circuitería interna.

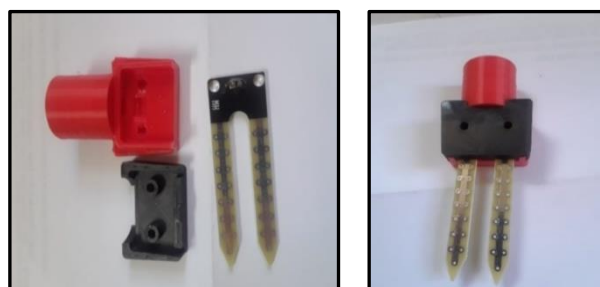


Figura 13-2. Sensor de Humedad FC-28

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

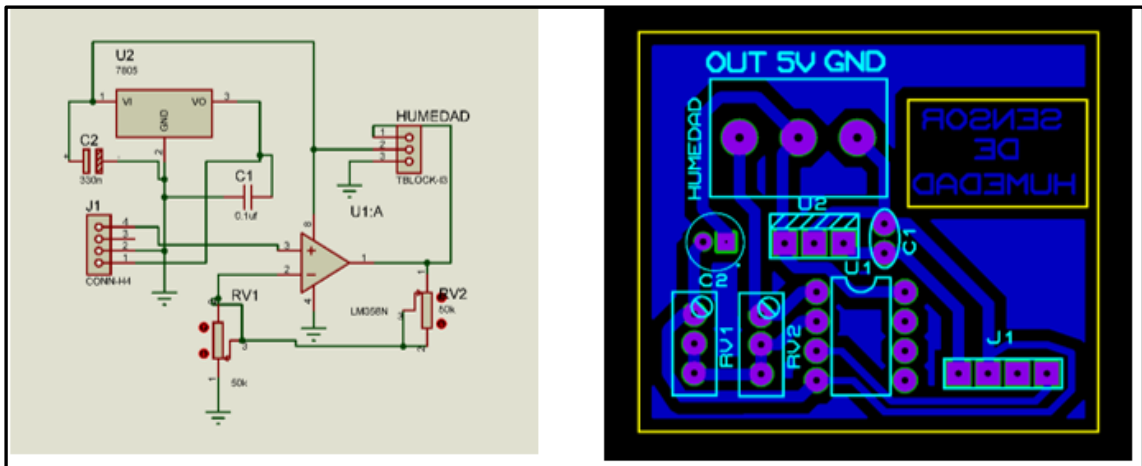
Se utilizaron amplificadores de voltaje de 12V para evitar una atenuación de señal hasta su llegada a la tarjeta de control. Para su conexión se utilizó cable concéntrico No. 18. El datasheet del FC-28 está adjunto en el *Anexo B*.



Figura 14-2. Circuito amplificador de voltaje

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La *Figura 15-2* muestra el circuito acondicionador de señales de los sensores de humedad utilizado.



a. Acondicionamiento de la señal del sensor

b. Diseño de la placa en PBC

Figura 15-2. Circuito acondicionador de señal

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

2.5.3. Sensor de lluvia FC-27

Este tipo de sensor sirvió para detectar la presencia de la lluvia en el ambiente. Se utilizó un único sensor que se lo colocó sobre el cuarto de máquinas, bastante cerca de la tarjeta de control por lo que no hubo necesidad de amplificar su señal. De igual manera el cable utilizado para su conexión fue el cable concéntrico No. 18. El datasheet del FC-27 está adjunto en el *Anexo C*.



Figura 16-2. Sensor de Lluvia FC-27
Fuente: (Datasheet FC-27, 2020)

2.5.4. Sensor de temperatura ambiente DHT 21

El DHT21 midió la temperatura ambiente, y debido a que posee un empaque de plástico fue idóneo para instalarlo en la parte exterior del cuarto de máquinas, sin ser afectado por las inclemencias del ambiente. Su conexión a la tarjeta de control se la realizó utilizando cable concéntrico No. 18. El datasheet del DTH-21 está adjunto en el *Anexo D*.



Figura 17-2. Sensor de temperatura ambiente DHT21
Fuente: (Datasheet DHT21, 2020)

2.5.5. Boya

Se trabajó con un sensor de nivel tipo boya, instalado a 30 cm medidos hacia abajo desde la parte superior del pozo. Su función fue la de indicar a través de la activación de sus contactos ON-OFF si el pozo tenía la cantidad suficiente de agua para poder activar los sistemas de riego.



Figura 18-2. Sensor tipo boya
Fuente: (Datasheet Pool patrol, 2020)

El diagrama general de bloques del sistema de control instalado se lo indica a continuación:

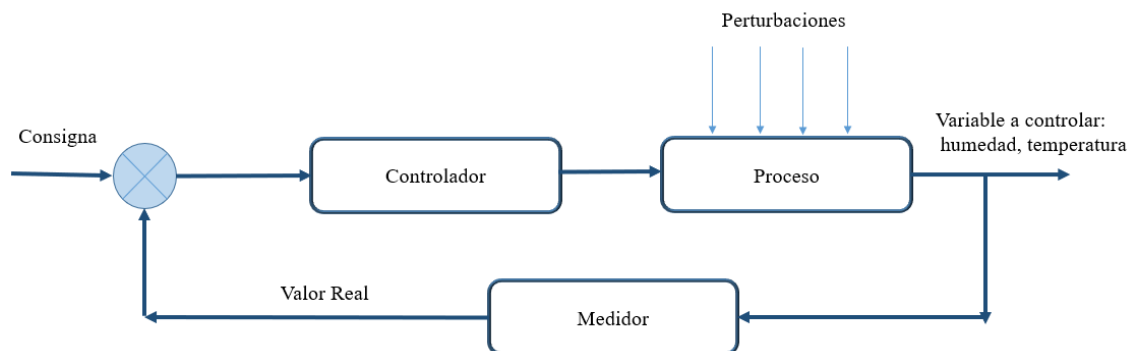


Gráfico 2-1. Sistema de control lazo cerrado
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Como se puede observar se trata de un sistema de control en lazo cerrado, donde el controlador (Arduino Nano), compara los valores leídos por los sensores con los valores de consigna establecidos en éste, y a partir de allí, envía instrucciones a los actuadores (que son válvulas selenoides) para que activen o desactiven los sistemas de riego.

Los valores de consigna para las variables de estudio fueron:

- Humedad: $< 70\%$ (ya que el valor de humedad recomendado para el cultivo de mora es superior a 70%)
- Temperatura: $< 5^{\circ}\text{C}$ (ya que a partir de 5°C hacia abajo se considera que existe una helada)

2.5.6. *Diseño de control del sistema de riego por goteo*

A continuación, se presenta un diagrama de flujo con la lógica de funcionamiento del sistema de riego por goteo.

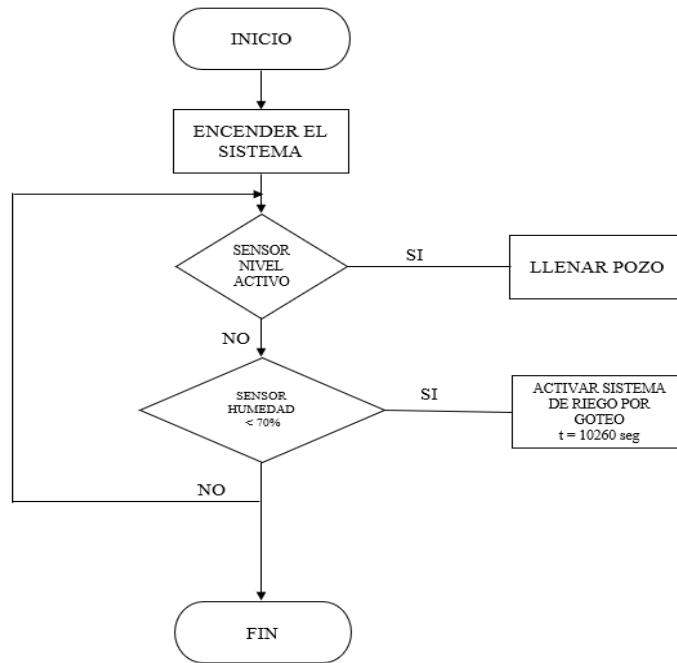


Gráfico 3-2. Diagrama de flujo, sistema de riego por goteo
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Se inicia el sistema comprobando el nivel de agua en el pozo, el cual no debe ser inferior al 30% del volumen de éste. Si el agua es insuficiente se procede a llenar el pozo, caso contrario se continúa con la lectura de los sensores de humedad los cuales deben ser superiores al valor de consigna.

Si el sensor de humedad da una lectura inferior al 70%, el sistema de riego por goteo se activa durante 2 horas 51 minutos y luego de eso se apaga. Sin embargo, si el sensor lee un valor superior al de la consigna mientras está activo el sistema de riego, éste se desactiva inmediatamente.

El Arduino recibe lecturas de los sensores de humedad cada hora, es decir, la comprobación que realiza el Arduino del valor leído con el valor de consigna se da en ese intervalo de tiempo. Se consideró así, ya que la humedad en el suelo no varía con rapidez.

Para poder determinar el tiempo de activación del sistema de riego por goteo, se aplicó el criterio de la velocidad de infiltración en un suelo franco arenoso, que está en un rango de 30 a 40 mm/h. Si se considera que la distancia que debe filtrar el agua es de 10 cm (ya que esa es la medida que tiene la raíz efectiva en su etapa inicial de crecimiento), entonces el tiempo de riego viene dado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{d}{v}$$

$$t = \frac{100\text{mm}}{35 \frac{\text{mm}}{\text{h}}} = 2,85 \text{ h}$$

$$t = 2 \text{ horas } 51 \text{ minutos}$$

2.5.7. Diseño de control del sistema de riego por aspersión

El siguiente es un diagrama de flujo con la lógica de funcionamiento del sistema de riego por aspersión.

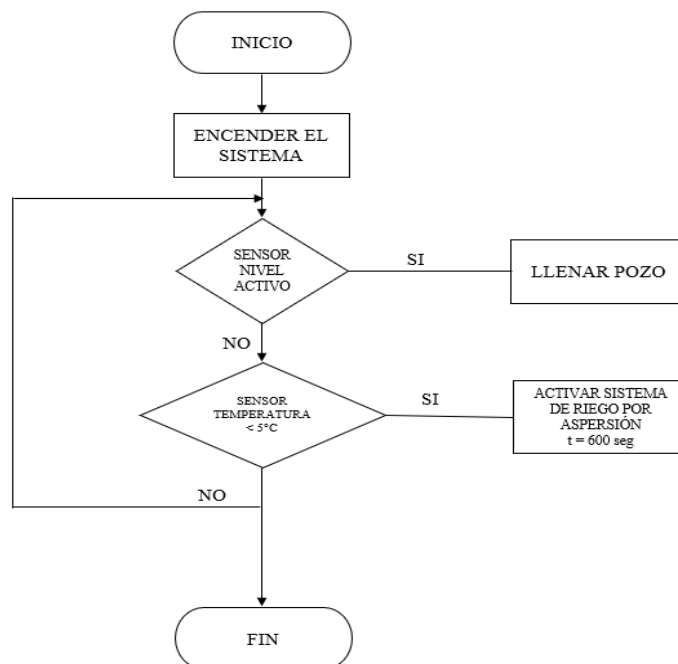


Gráfico 4-2. Diagrama de flujo, Sistema de riego por aspersión
 Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Como se puede observar la lógica de control en la etapa inicial es la misma que la anterior, la diferencia radica en que el controlador Arduino recibe las lecturas esta vez desde el sensor de temperatura. Si el valor sentido fuera menor a 5°C entonces se activa el sistema de riego por aspersión durante 10 minutos, transcurrido ese tiempo se desactiva.

La consideración del tiempo de riego estuvo en función de la recomendación dada por el INIAP, que establece que 10 minutos es un tiempo suficiente para poder cubrir la planta con una película fina de agua.

El Arduino se programó para leer datos del sensor de temperatura cada 30 minutos. Se tomó este valor considerando los resultados obtenidos de las mediciones que se realizaron durante un mes

en el área de estudio con el sensor de temperatura DHT21, cuyo objetivo fue determinar el tiempo promedio que tarda en variar un grado centígrado en el horario de 18H00 a 8H00.

2.5.8. Grafcet

A continuación, se presenta el diagrama de etapas y transiciones GRAFCET del sistema de control implementado, que fue programado en la tarjeta de control Arduino Nano.

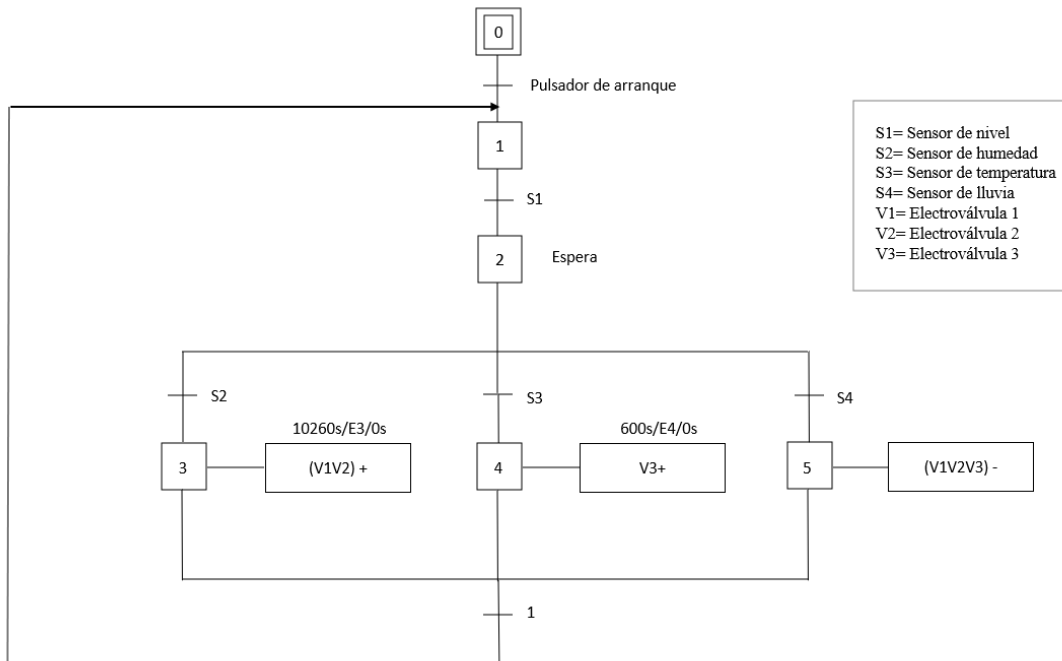


Gráfico 5-2. Grafcet
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La primera etapa (E1) inicia cuando se pulsa el botón de arranque, que se encuentra en el tablero de control donde están montados todos los elementos que forman parte del sistema Morautomation.

La segunda (E2), es una etapa de espera, la cual se activa con la lectura del nivel de agua del pozo. Si existe el agua suficiente, espera a que cualquiera de los sensores S2, S3 o S4 se activen y en función de eso habiliten las etapas 3, 4 o 5. En esta etapa se habilita en el tablero de control una luz piloto verde como indicativo de que pueda continuar con la siguiente etapa, y una luz piloto roja si es que observa que no hay la cantidad de agua suficiente en el pozo como para continuar con el proceso.

Las electroválvulas V1 y V2 se activan en cuanto se habilita la etapa tres (E3), desactivándose 10260 segundos después (2,85 horas) si no se ha desactivado antes la etapa tres. Las

electroválvulas V1 y V2 son las que controlan el sistema de riego por goteo en dos zonas de distribución Z1 y Z2 respectivamente.

La electroválvula V3 se activa cuando se habilita la etapa cuatro (E4), y se desactiva 600 segundos después (10 minutos) si no se ha desactivado antes la etapa cuatro. La electroválvula V3 controla la red de aspersores de todo el terreno.

Si la etapa cinco (E5) se habilita, entonces desactiva todas las electroválvulas que corresponden a los dos sistemas de riego por goteo y aspersión.

Finalmente, al cumplirse cualquiera de esas etapas, regresa a la primera, y el proceso se repite.

2.6. FASE 3. Cloud Monitoring

El control y monitoreo de datos que se generan en un sistema, es clave para poder actuar oportunamente tomando la mejor decisión respecto a éste, lo que lleva a mejorar la calidad del sistema y a optimizar procesos.

Es por ello, que se integró al presente sistema de control de riegos, una solución que permitió justamente controlar y monitorear en tiempo real desde la nube los datos generados en el sistema.

Esto se logró, en primera instancia, integrando a la tarjeta de control, el módulo MCU ESP32, el cual, al ser totalmente compatible con Arduino Nano permitió actuar como una tarjeta WIFI de éste y así lograr una conexión a internet, la cual se dispone de forma gratuita en la Parroquia San Juan (Municipio de Riobamba, 2020).

La conexión del MCU ESP32 a la tarjeta de control fue de forma serial.

2.6.1. Integración del sistema a ThingSpeak

A partir de allí, se estableció la conexión con la plataforma cloud ThingSpeak para IoT, que permitió agregar y visualizar los flujos de datos del sistema en tiempo real desde la nube, permitiendo visualizaciones instantáneas de los datos que publicó la tarjeta de control. No se necesitó configurar servidores ni software web.



Figura 19-2. Conexión a plataforma ThingSpeak
Fuente: (ThingSpeak Home, 2021)

Se crearon cinco canales privados, cada uno de los cuales almacenaron los datos correspondientes a los sensores de nivel, lluvia, humedad y temperatura ambiente.

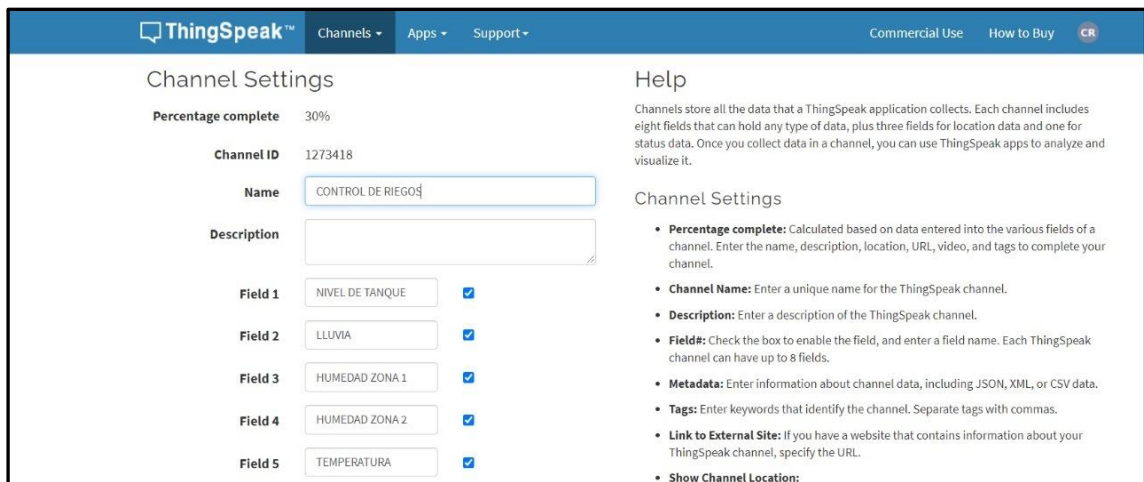


Figura 20-2. Canales ThingSpeak
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

A cada canal creado se le asoció una API KEY, la cual fue insertada en la programación del controlador junto con el número de canal y la variable write para poder escribir. Se tuvo que incluir además la librería ThingSpeak para Arduino.

El *Gráfico 6-2* muestra la interfaz de monitoreo de datos desde la plataforma ThingSpeak.



Gráfico 6-2. Interfaz de monitoreo en ThingSpeak
 Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

2.6.2. *Aplicativo móvil*

Alternativamente, se desarrolló una aplicación móvil que fue sincronizada con ThingSpeak. Esta app fue programada con el software Mit App Inventor, la programación de la interfaz fue creada en bloques como muestra la *Figura 21-2* y presentó la misma información que la publicada en ThingSpeak.

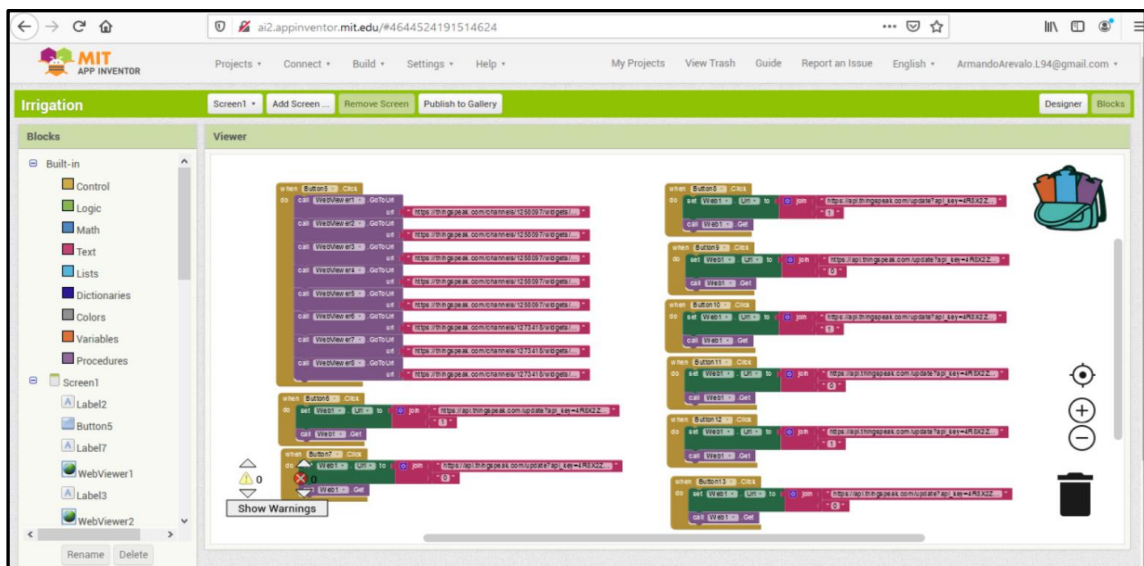


Figura 21-2. Programación de bloques mediante app inventor
 Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Con la programación en bloques lista, se obtuvo el ejecutable de la aplicación, esto es, un archivo .apk compatible con el sistema operativo Android. La *Figura 22-2* muestra la aplicación móvil final.

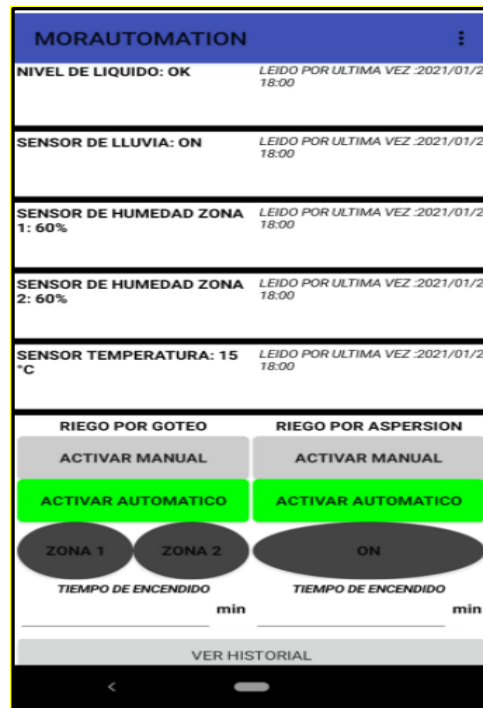


Figura 22-2. Aplicación móvil
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Si bien este proyecto se trató de una solución automática de control de riegos, la app móvil tuvo una funcionalidad adicional al monitoreo de datos, que fue el control de la activación y desactivación de los sistemas de riego. Esto fue creado, ante una posible eventualidad de falla del sistema automático.

2.7. FASE 4. Implementación del sistema de control

La implementación del sistema de control se la realizó de acuerdo con el siguiente esquema, que está conectado a la energía eléctrica disponible en el sitio.

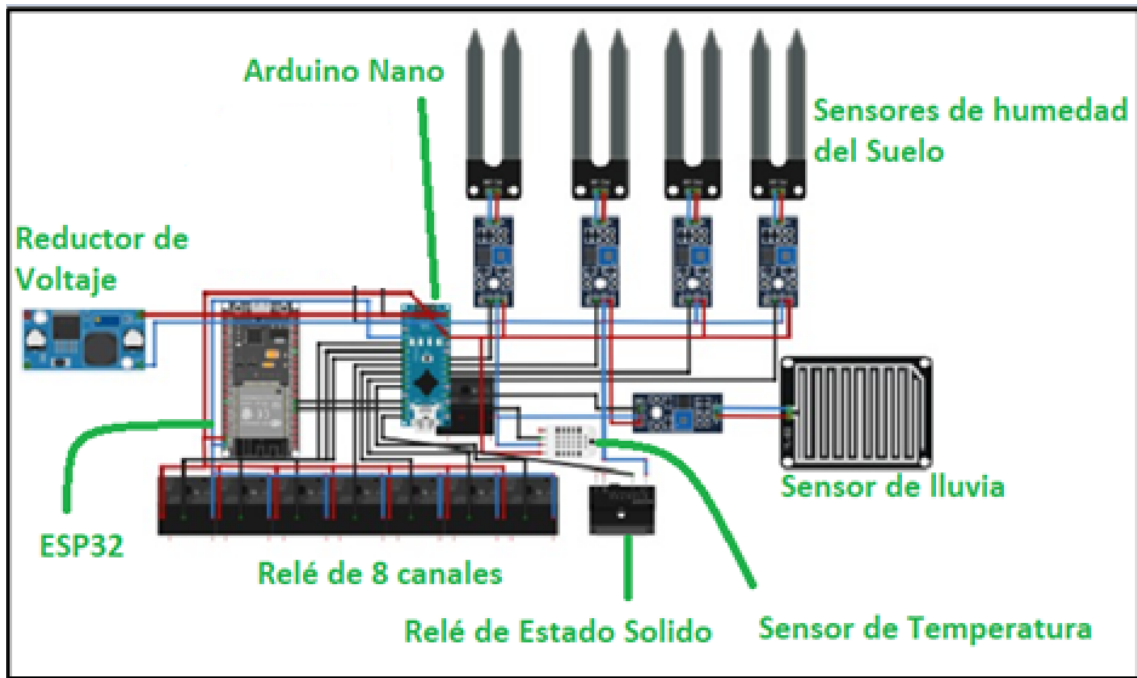


Figura 23-2. Conexiones del sistema de control - Fritzing
 Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Los terminales de conexión de la tarjeta de control Arduino Nano son mostrados en la *Tabla 1-2*.

Tabla 1-2: Terminales de conexión Arduino

Número de terminal	Descripción
0	Sin conexión
1	Sin conexión
2	Conexión relé in 1
3	Conexión relé in 2
4	Conexión relé in 3
5	Conexión relé in 4
6	Conexión relé in 5
7	Conexión relé in 6
8	Conexión relé in 7
9	Conexión relé in 8

10	Conexión RX hacia MCU-ESP32
11	Conexión RX hacia MCU-ESP32
12	Conexión relé solido
13	Conexión sensor de temperatura
14 - A0	Conexión sensor de lluvia
15 - A1	Sin conexión
16 - A2	Conexión sensor de humedad 1
17 - A3	Conexión sensor de humedad 2
18 - A4	Conexión sensor de humedad 3
19 - A5	Conexión sensor de humedad 4
20 - A6	Sin conexión
21 - A7	Sin conexión

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La Figura 24-2 presenta el diseño de la placa de control PCB.

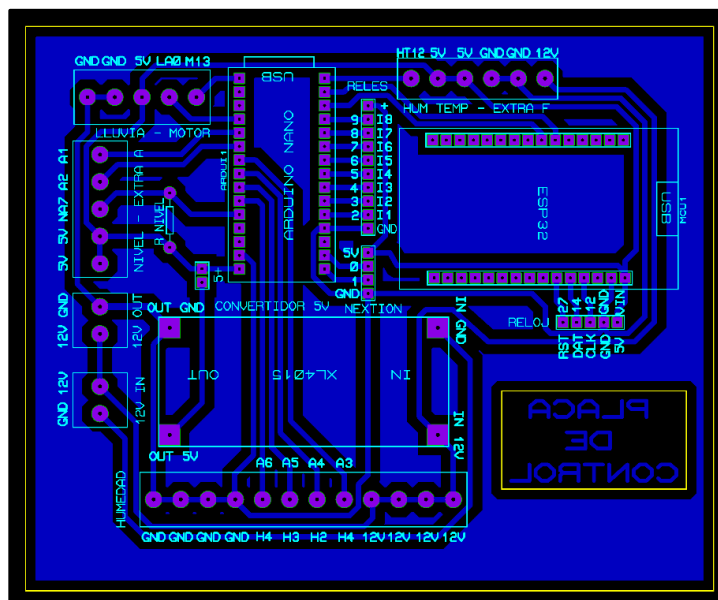


Figura 24-2. Diseño de Placa de Control PCB

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

El sistema diseñado se lo montó sobre un tablero, en el cual se instalaron todos los componentes del *sistema de mando y control*, considerando los dispositivos eléctricos y electrónicos que formaron parte del *Morautomation*, así como también, elementos adicionales tales como:

- Breaker 16A
- Canaleta ranurada
- Rieldin
- Caja de control 60X40 cm
- Luces indicadoras 12V
- Guardamotor 6-10A
- Borneras

La *Figura 25-2*, muestra el diagrama de mando y potencia implementado.

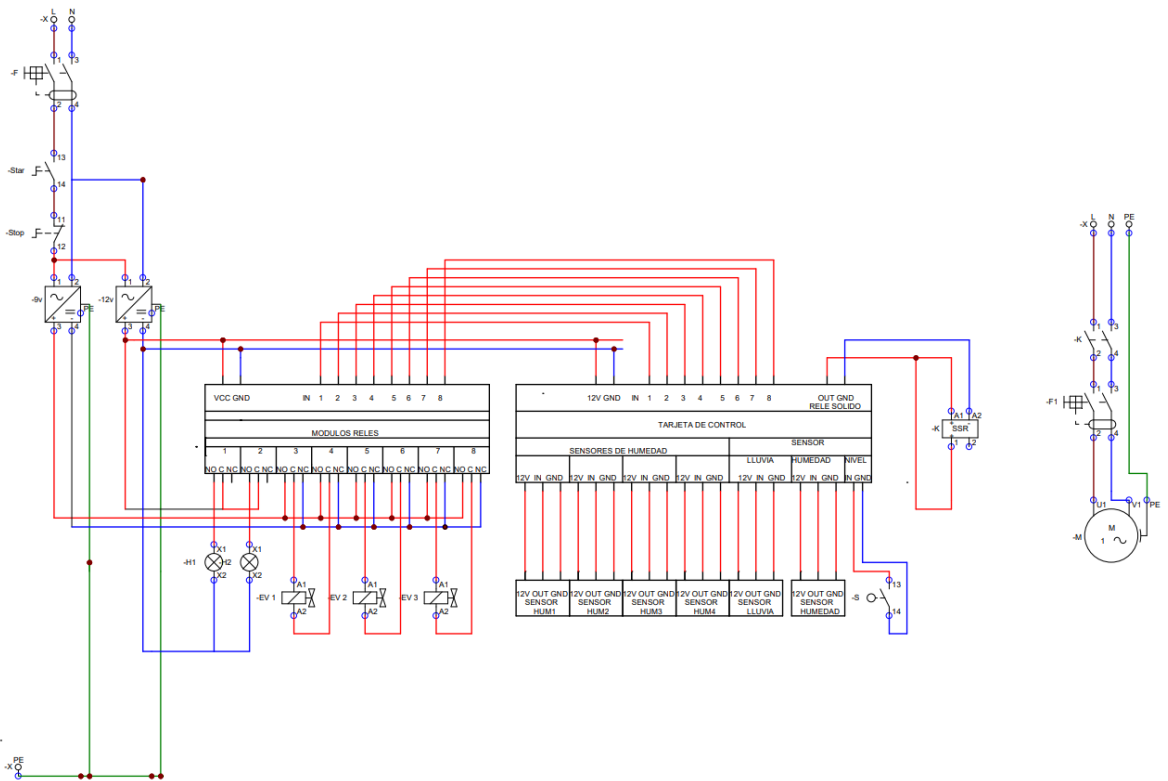


Figura 25-2. Diagrama de mando y potencia
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La *Figura 26-2* en sus literales *a, b, c, d*, muestra el proceso de construcción de dicho tablero:



a. Ensamble de fuente de poder y relé.



b. Ensamble de rieldín y borneras.



c. Encaje de los elementos electrónicos



d. Tablero eléctrico del sistema MorAutomation

Figura 26-2. Proceso de Construcción del Tablero Eléctrico

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La *Figura 27-2* muestra los componentes eléctricos y electrónicos ensamblados en el tablero de control.

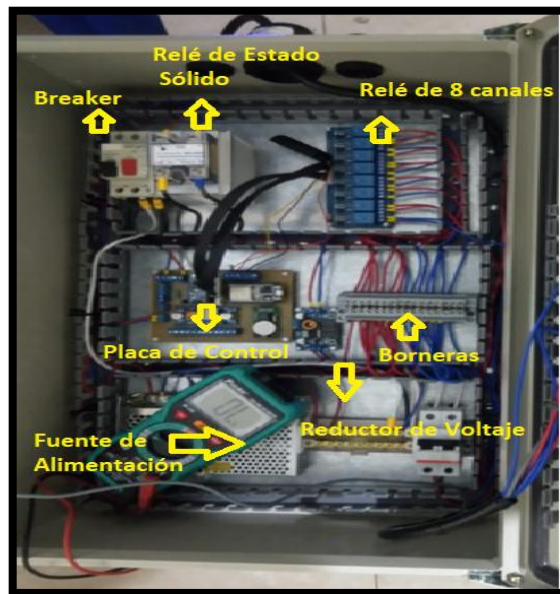


Figura 27-2. Componentes del tablero eléctrico
Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

CAPÍTULO III

3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas a los elementos más relevantes del sistema de control automatizado y a su funcionamiento. Además, se efectúa la validación de los sensores utilizados, así como la verificación del acceso a la nube. Los resultados obtenidos fueron analizados cuidadosamente y a partir de allí se realizaron conclusiones y recomendaciones del proyecto implementado.

3.1. Validación de sensores

Para realizar la validación de los sensores utilizados en el sistema electrónico Morautomation se emplearon dispositivos comerciales que sirvieron como equipos patrones. Las pruebas consistieron en validar que el error absoluto obtenido no supere el error del equipo patrón utilizado. Las pruebas realizadas se detallan a continuación:

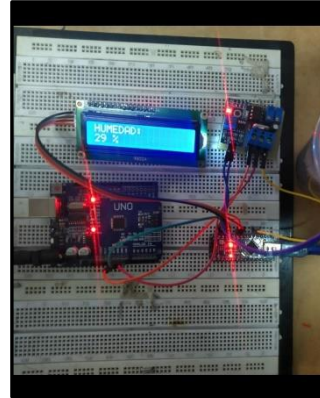
3.1.1. *Medición de humedad relativa del suelo con el equipo patrón QYCL.*

El objetivo de esta prueba fue determinar, si al sistema electrónico Morautomation se incorpora un error adicional del sensor FC-28, sumado al que por defecto viene de fábrica.

Procedimiento empleado:

- Utilizar como equipo patrón al dispositivo comercial QYCL, cuyo error de medición es de $\pm 3\%$. Las especificaciones técnicas se adjuntan en el *Anexo E*.
- Someter bajo las mismas condiciones de campo en el mismo instante de tiempo al QYCL y al sensor utilizado en el proyecto FC-28.
- Con los dos equipos registrar 25 lecturas aleatorias durante siete días.
- Hallar el error absoluto del FC-28 (el error, es una desviación que presentan las medidas de una variable con relación a las medidas ideales de un instrumento patrón), a través del cálculo de la diferencia entre las lecturas obtenidas de los dos sensores.

La *Figura 1-3* muestra la medición realizada con el equipo comercial QYCL y el sensor FC-28.



a. QYCL

b. FC-28

Figura 1-3. Mediciones QYCL vs FC-28

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

A continuación, se presenta en la *Tabla 1-3* los datos de las pruebas de medición de humedad del suelo, obtenidos de las lecturas realizadas del QYCL, el FC-28 y el cálculo del error absoluto entre ambos.

Tabla 1-3: Datos de pruebas de medición de humedad relativa de suelo con QYCL vs FC-28

No.	Equipo patrón: QYCL (%)		Sensor en prototipo: FC-28 (%)	Error absoluto (%)
	Lectura	Error $\pm 3\%$	Lectura	
1	30,5	0,9	30,3	0,2
2	50,4	1,5	50,3	0,1
3	50,2	1,5	50,1	0,1
4	40,7	1,2	40,5	0,2
5	60	1,8	60	0
6	50,4	1,5	50,2	0,2
7	60,8	1,8	60,1	0,7
8	70,5	2,1	70,4	0,1
9	70,3	2,1	70,2	0,1
10	70,2	2,1	70,1	0,1

11	70,7	2,1	70,6	0,1
12	70,6	2,1	70,5	0,1
13	70,8	2,1	70,5	0,3
14	70,4	2,1	70,3	0,1
15	50,8	1,5	50,5	0,3
16	60,2	1,8	60	0,2
17	55,5	1,7	55,2	0,3
18	50,6	1,5	50,3	0,3
19	55,9	1,7	55,4	0,5
20	60,5	1,8	60,2	0,3
21	60,1	1,8	60,1	0
22	70,4	2,1	70,3	0,1
23	60,8	1,8	60,4	0,4
24	60,5	1,8	60,4	0,1
25	60,3	1,8	60,1	0,2

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

De la *Tabla 1-3* se puede observar que de las 25 lecturas realizadas ninguna supera el error del 3% del higrómetro QYCL (equipo patrón), por lo tanto, no se incorpora un error adicional al que por defecto tiene el sensor FC-28.

El *Gráfico 1-3* muestra una descripción estadística de los resultados obtenidos al calcular el error absoluto del sensor de humedad FC-28. Como se puede apreciar, no hay una diferencia significativa de las mediciones realizadas entre el equipo comercial y el utilizado en el prototipo, lo que concluye que el prototipito implementado mantiene un comportamiento similar al equipo comercial tomado como referencia.



Gráfico 1-3. Representación estadística de la validación del sensor de humedad FC-28

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

3.1.2. *Medición de temperatura ambiente con el equipo patrón ROEAM*

El objetivo de esta prueba fue determinar, si al sistema electrónico Morautomation se incorpora un error adicional del sensor DHT21 sumado al que por defecto viene de fábrica.

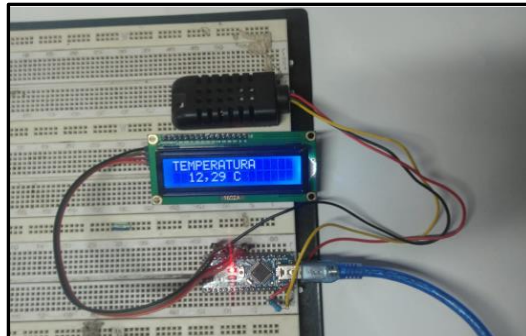
Procedimiento empleado:

- Utilizar como equipo patrón al medidor digital de temperatura Roeam, cuyo error de medición es de $\pm 2\%$. Las especificaciones técnicas se adjuntan en el *Anexo F*.
- Someter bajo las mismas condiciones de campo en el mismo instante de tiempo, al Roeam y al sensor DHT21 utilizado en el proyecto.
- Con los dos equipos registrar 25 lecturas aleatorias durante siete días.
- Hallar el error absoluto del DHT21, a través del cálculo de la diferencia entre las lecturas obtenidas de los dos sensores.

La *Figura 2-3* muestra el equipo medidor de temperatura Roem y el sensor DHT21.



a. Roem



b. DHT21

Figura 2-3. Mediciones Roem vs DHT21

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Los datos obtenidos de las lecturas realizadas con el Roem y DHT21, así como el cálculo de su error absoluto se presentan en la *Tabla 2-3*, estas lecturas corresponden a los datos de las pruebas de medición de temperatura ambiente.

Tabla 2-3: Datos de pruebas de medición de temperatura ambiente con Roem vs DHT21

No.	Equipo patrón: Roem (°C)		Sensor en prototipo: DHT21 (°C)	Error absoluto (°C)
	Lectura	Error $\pm 2\%$	Lectura	
1	12,34	0,25	12,58	0,24
2	12,29	0,25	12,31	0,02
3	12,29	0,25	12,34	0,05
4	12,11	0,24	12,18	0,07
5	11,96	0,24	12,02	0,06
6	11,94	0,24	11,98	0,04
7	11,35	0,23	11,56	0,21
8	11,37	0,23	11,56	0,19
9	11,26	0,23	11,42	0,16
10	11,18	0,22	11,39	0,21
11	11,09	0,22	11,26	0,17
12	10,62	0,21	10,68	0,06
13	10,44	0,21	10,53	0,09
14	10,42	0,21	10,51	0,09
15	10,41	0,21	10,62	0,21

16	10,45	0,21	10,49	0,04
17	10,24	0,20	10,32	0,08
18	10,4	0,21	10,48	0,08
19	10,12	0,20	10,26	0,14
20	10,04	0,20	10,11	0,07
21	9,98	0,20	10,11	0,13
22	9,12	0,18	9,17	0,05
23	9,17	0,18	9,21	0,04
24	9,2	0,18	9,32	0,12
25	9,35	0,19	9,43	0,08

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

De la *Tabla 2-3* se puede observar que, de las 25 lecturas realizadas, ninguna supera el error del 2% del medidor digital de temperatura Roeam tomado como referencia, por lo tanto, no se incorpora un error adicional al que por defecto tiene el sensor DHT21.

El *Gráfico 2-3* muestra una descripción estadística de los resultados obtenidos al calcular el error absoluto del sensor de temperatura DHT21. Como se puede verificar, no hay una diferencia significativa de las mediciones realizadas entre los dos elementos, lo que concluye que el prototipo implementado mantiene un comportamiento similar al equipo comercial tomado como referencia.

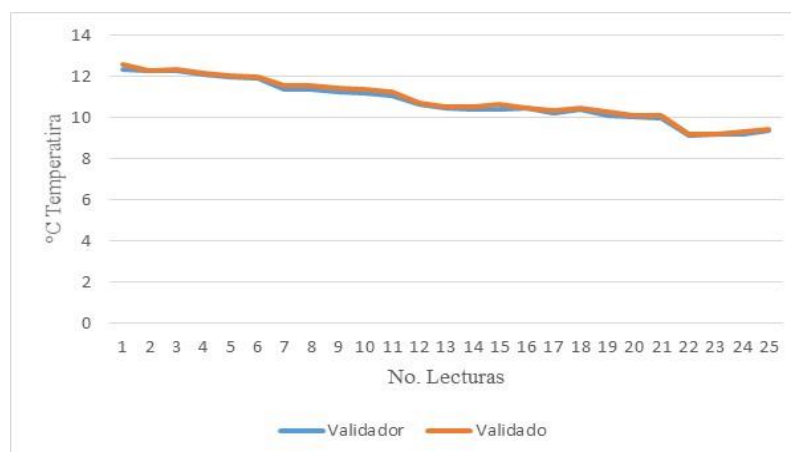


Gráfico 2-3. Representación estadística de la validación del sensor de temperatura DHT21

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

3.2. Estabilidad del sistema Morautomation

Para determinar la estabilidad, se aplicó una de las características estáticas de los sensores que es la *repetitividad*, la cual se refiere a la habilidad que tiene el sensor de entregar la misma lectura al repetirla varias veces en un determinado tiempo y hacerlo con cierta precisión (Universidad de Tarapacá, 2014).

Se tomó como referencia un trabajo realizado por la Universidad Tecnológica de Pereira: “ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD UTILIZANDO EL MÉTODO DE PROMEDIOS Y RANGOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DE CALIBRACIÓN DE ACUERDO CON LA NORMA TÉCNICA NTCISO/IEC 17025”, para establecer los valores que se consideran adecuados en la aceptación de un instrumento. De acuerdo al estudio, se considera que si el instrumento tiene un coeficiente de variación menor a 0,15 es apropiado para la aplicación diseñada, y, por lo tanto, es un instrumento estable (Calibración et al., 2007).

3.2.1. Estabilidad del sensor de humedad FC-28

El objetivo de esta prueba fue verificar la estabilidad del sensor FC-28 con un coeficiente de variación menor a 0,15.

Procedimiento empleado:

- Realizar 20 lecturas con el sensor FC-28 durante un minuto.
- Calcular el coeficiente de variación de los datos obtenidos y compararlo con el coeficiente de variación establecido por el estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Pereira.

La *Tabla 3-3* muestra las lecturas realizadas por el sensor de humedad FC-28 y el cálculo de su coeficiente de variación.

Tabla 3-3: Cálculo de coeficiente de variación del sensor FC-28

No. Lectura	Sensor humedad (%)
1	85
2	86
3	85
4	85
5	84
6	85

7	85
8	85
9	85
10	85
11	84
12	85
13	85
14	86
15	86
16	85
17	86
18	85
19	85
20	85
Promedio	85,10
Desviación estándar	0,55
Coefficiente de variación	0,006

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Los resultados obtenidos en la *Tabla 3-3* muestran que el coeficiente de variación es inferior a 0,15; por lo tanto, se demuestra que el instrumento utilizado es estable para la aplicación desarrollada.

3.2.2. Estabilidad del sensor de temperatura DHT21

El objetivo de esta prueba fue comprobar la estabilidad del sensor DHT21 con un coeficiente de variación menor a 0,15.

Procedimiento empleado:

- Realizar 20 lecturas con el sensor DHT21 durante un minuto.
- Calcular el coeficiente de variación de los datos obtenidos y compararlo con el coeficiente de variación establecido por el estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Pereira.

La *Tabla 4-3* muestra las lecturas realizadas por el sensor de temperatura DHT21 y el cálculo de su coeficiente de variación.

Tabla 4-3: Cálculo de coeficiente de variación del sensor DHT21

No. Lectura	Sensor temperatura (°C)
1	13,0
2	13,2
3	13,2
4	13,5
5	13,4
6	13,4
7	13,4
8	13,6
9	13,5
10	13,5
11	13,5
12	13,5
13	13,5
14	13,6
15	13,5
16	13,5
17	13,5
18	13,5
19	13,6
20	13,5
Promedio	13,45
Desviación estándar	0,15
Coeficiente de variación	0,011

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Los resultados obtenidos en la *Tabla 4-3* muestran que el coeficiente de variación es inferior a 0,15; por lo tanto, se demuestra que el instrumento utilizado es estable para la aplicación desarrollada.

3.3. Pruebas de activación de los sistemas de riego

El objetivo de esta prueba fue verificar mediante el método de observación, la activación de los sistemas de riego por goteo y aspersión a través del accionamiento de las electroválvulas.

Procedimiento empleado:

- Ingresar 30 valores aleatorios de humedad y temperatura en la programación de la tarjeta de control Arduino.
- A través de la observación directa, comprobar si las electroválvulas V1, V2 y V3 activaron los sistemas de riego de acuerdo a los valores parametrizados en la tarjeta de control.

La *Tabla 5-3* indica los resultados obtenidos en las 30 pruebas realizadas. Donde: “0” representa desactivado, y “1” representa activado.

Tabla 5-3: Datos de mediciones de prueba de la activación de sistemas de riego

No.	Valor ingresado humedad (%)	Valor ingresado temperatura (°C)	Sistema de riego por goteo		Sistema de riego por aspersión
			Activación V1	Activación V2	Activación V3
1	20	6	1	1	0
2	69	12	1	1	0
3	85	17	0	0	0
4	98	11	0	0	0
5	11	4	1	1	1
6	45	3	1	1	1
7	39	8	1	1	0
8	77	9	0	0	0
9	50	1	1	1	1
10	81	15	0	0	0
11	24	0	1	1	1
12	70	18	1	1	0
13	69	2	1	1	1
14	91	-1	0	0	1

15	81	6	0	0	0
16	71	5	0	0	0
17	35	12	1	1	0
18	66	14	1	1	0
19	58	4	1	1	1
20	10	7	1	1	0
21	76	9	0	0	0
22	45	10	1	1	0
23	28	2	1	1	1
24	53	8	1	1	0
25	88	9	0	0	0
26	40	1	1	1	1
27	85	15	0	0	0
28	39	0	1	1	1
29	25	18	1	1	0
30	90	-2	0	0	1

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La *Tabla 6-3* indica los resultados alcanzados en la verificación del sistema de control de riegos, cuantificando el número de éxitos y fracasos presentados en las 30 pruebas realizadas. Como se puede ver, no existió error al momento de comprobar la activación de los sistemas de riego.

Tabla 6-3: Cantidad de éxitos y fracasos en la activación Sistemas de Riego

	Sistema de riego por goteo	Sistema de riego por aspersión
Éxitos	30	30
Fracasos	0	0
Total	30	30

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

A continuación, se presenta el *Gráfico 3-3* donde se muestra de manera estadística los resultados alcanzados en la *Tabla 6-3* con los éxitos y fracasos obtenidos durante las pruebas de activación de los sistemas de riego.

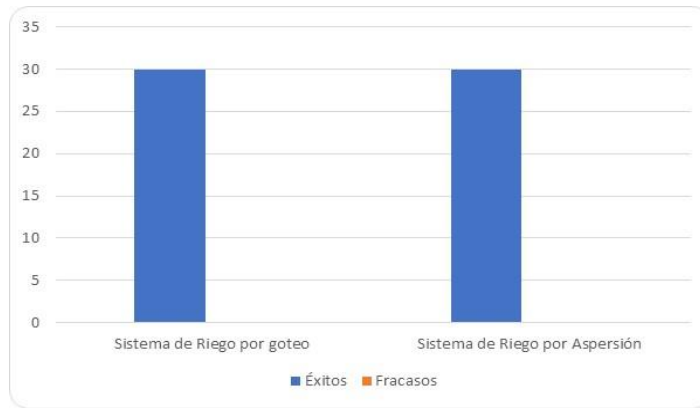


Gráfico 3-1. Estadística de éxitos y fracasos – Activación sistemas de riego

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

3.4. Medición de temperatura ambiente.

Se midió la temperatura ambiente para determinar si la variación de grados centígrados en el horario de 18h00 a 08h00 mantenía un comportamiento similar. Esta información permitiría establecer un intervalo de tiempo de lectura adecuado del sensor DHT21 dentro del sistema de riego por aspersión.

Procedimiento empleado:

- Utilizar el sensor DHT21 para realizar las mediciones de temperatura en el área de estudio.
- Registrar lecturas cada minuto durante cuatro semanas y guardar la información en una tarjeta SD.
- Debido a que se generan 22500 datos, utilizar el software Matlab R2020b, para organizar por semana los valores obtenidos, promediando los valores de lectura en intervalos de treinta minutos. Este tiempo es suficiente para verificar variaciones de temperatura, ya que en ningún caso la temperatura ambiente varía en tiempos cortos (INIAP -Estación Experimental Santa Catalina, 2017).
- Aplicar el *Test de homogeneidad de Varianzas* en el software IBM SPSS Versión 20, para comprobar si las medias de las lecturas tomadas por semana presentaban un comportamiento semejante.
- Considerar como Hipótesis Nula (H_0) e Hipótesis Alternativas (H_a) las siguientes:
 - H_0 = Las medias de las cuatro semanas son semejantes.
 - H_a = Las medias de las cuatro semanas no son semejantes.

- Trabajar con un nivel de significancia de 0,05 dado por default en el software IBM SPSS Versión 20.

La *Tabla 7-3* contiene las lecturas de temperatura obtenidas durante cuatro semanas.

Tabla 7-3: Lecturas de temperatura leídas durante cuatro semanas.

No.	Hora	Semana 1 lecturas de T (°C)	Semana 2 lecturas de T (°C)	Semana 3 lecturas de T (°C)	Semana 4 lecturas de T (°C)
1	18:31:15	15,49	12,87	13,28	14,47
2	19:03:30	15,71	12,84	13,01	14,63
3	19:35:44	14,79	12,64	12,74	13,79
4	20:07:57	14,04	12,56	12,04	13,55
5	20:40:12	13,20	11,97	12,03	13,10
6	21:12:25	13,07	11,55	11,58	13,07
7	21:44:40	12,7	11,53	11,65	12,34
8	22:16:53	12,59	11,35	10,93	12,29
9	22:49:08	11,83	11,37	9,72	12,29
10	23:21:21	11,54	11,26	8,92	12,11
11	23:53:36	11,18	11,18	8,65	11,96
12	0:25:45	11,22	11,09	8,75	11,94
13	0:57:56	11,33	10,62	9,18	11,37
14	1:30:04	11,17	10,44	9,22	11,33
15	2:02:13	11,06	10,42	9,12	11,32
16	2:34:19	10,48	10,41	9,17	11,07
17	3:06:26	10,74	10,45	9,2	10,94
18	3:38:34	10,91	10,24	9,35	10,90
19	4:10:41	10,61	10,4	9,75	10,75
20	4:43:53	10,87	10,12	9,4	10,55
21	5:16:00	10,72	10,04	9,24	10,52
22	5:48:08	10,51	9,98	8,72	10,93
23	6:20:14	10,23	10,05	8,63	11,16
24	6:52:22	10,62	9,9	8,47	11,99
25	7:24:30	11,45	10,43	8,91	12,22
26	7:56:40	12,33	11,12	9,77	12,10

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

La *Tabla 8-3* muestra el resultado de aplicar el *Test de homogeneidad de Varianzas* en el software IBM SPSS Versión 20.

Tabla 8-3: Test de homogeneidad de varianzas

Temperatura			
Levene statistic	df1	df2	Sig.
2,433	3	100	0,069

Fuente: IBM SPSS Versión 20.

Como el valor de *Sig* (*nivel de significancia*) es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula, lo que quiere decir que las temperaturas que se presentan durante el horario comprendido entre las 18h00 a las 8h00 son semejantes.

3.5. Comprobación del registro de datos del sistema Morautomation en la plataforma ThingSpeak

El objetivo de esta prueba por observación directa, fue determinar si los datos generados desde el sistema electrónico Morautomation fueron los mismos que se almacenaron en la plataforma de ThingSpeak.

Procedimiento empleado:

- Acceder a la tarjeta de control y generar veinte valores aleatorios para el sensor de temperatura, seleccionado con fines de prueba.
- Ingresar a la base de datos de ThingSpeak y seleccionar el canal asignado para el almacenamiento de los valores de temperatura.
- Verificar si los datos generados desde la tarjeta de control coincidieron con los almacenados en la base de datos de ThingSpeak en tiempo real.

La *Figura 3-3* muestra una captura de la información almacenada: de manera gráfica y en un archivo .xls, en la plataforma ThingSpeak.

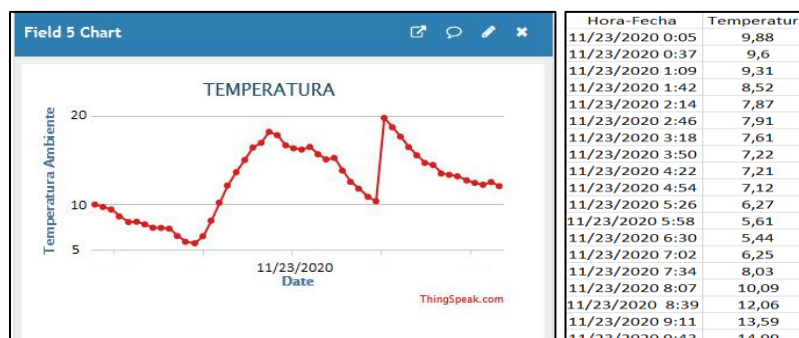


Figura 3-1. Base de datos ThingSpeak – Temperatura

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Se pudo comprobar que la información leída por el sensor de temperatura es la misma que almacenó la plataforma ThingSpeak, por lo tanto, no hubo pérdida de información.

3.6. Medición del consumo energético

El objetivo fue conocer el consumo energético del sistema Morautomation en sus dos estados: a plena carga y en modo stand by (estado donde el Morautomation se encuentra energizado y en espera de activar sus sistemas de riego).

Procedimiento empleado:

- Identificar los elementos electrónicos y eléctricos que conforman el sistema Morautomation y medir los valores de corriente (A) y voltaje (V) haciendo uso de un multímetro.
- Calcular los valores de potencia (W) de cada uno de los elementos cuando el sistema está en funcionamiento a plena carga y cuando se encuentra en modo stand by.
- Determinar el consumo de potencia total en sus dos estados.

En la *Tabla 9-3* se presenta los valores medidos y calculados de cada uno de los elementos del sistema Morautomation.

Tabla 9-3: Consumo energético a plena carga y en modo stand by.

Consumo a plena carga				
No	Elemento electrónico	Corriente (mA)	Voltaje (V)	Potencia (Watts)
1	Arduino	46	5	0,23
2	MCU ESP32	120	5	0,6
3	RTC Timer	1,5	5	0,0075
5	Módulo relé	180	5	0,9
6	Relé de estado sólido	15	5	0,075
7	Luces indicadoras	17	5	0,085
8	Electroválvulas	2750	9	24,75
9	Sensores de humedad	10	5	0,05
10	Sensor de temperatura	2,5	5	0,0125
11	Sensor de nivel	22	5	0,11
12	Sensor de lluvia	2,7	5	0,0135
Total				26,8335

Consumo modo stand by				
No	Elemento electrónico	Corriente (mA)	Voltaje (V)	Potencia (Watts)
1	Arduino	46	5	0,23
2	MCU ESP32	50	5	0,25
3	RTC Timer	1,5	5	0,0075

5	Módulo relé	0	5	0
6	Relé de estado sólido	0	5	0
7	Luces indicadoras	17	5	0,085
8	Electroválvulas	0	9	0
9	Sensores de humedad	10	5	0,05
10	Sensor de temperatura	2,5	5	0,0125
11	Sensor de nivel	22	5	0,11
12	Sensor de lluvia	2,7	5	0,0135
Total				0,7585

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Como se puede observar, cuando el sistema está a plena carga, consume 26,83 W, que es el resultado de la suma de la potencia de los elementos electrónicos y eléctricos. Y 0,76W cuando el sistema se encuentra en stand by.

Con estos resultados se puede decir que cuando el sistema funciona a plena carga consume 38 veces más energía que cuando está en modo stand by.

Además, si se compara con una computadora, su consumo energético representa una reducción del 85,72%.

La *Figura 4-3* muestra las mediciones realizadas a los elementos del sistema Morautomation.

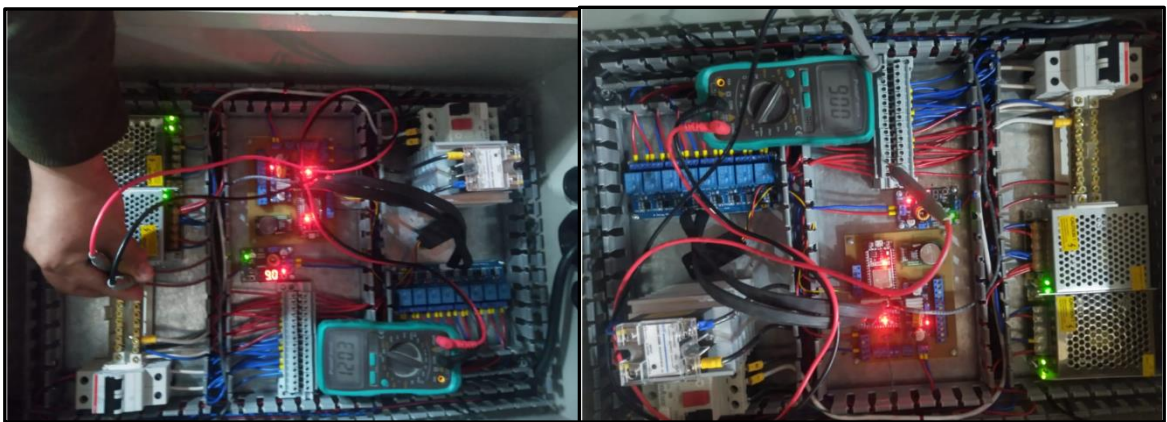


Figura 4-3. Medición consumo de energía

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

CAPITULO IV

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Este capítulo presenta información respecto a los costos generados en el proceso de implementación del sistema Morautomation y los materiales utilizados en los sistemas de riego por goteo y aspersión.

4.1 Costo de materiales del sistema Morautomation

La *Tabla 1-4* muestra de manera detallada el costo de los materiales eléctricos y electrónicos que fueron utilizados en el montaje del tablero de control, así como también, de los elementos de entrada y salida del sistema Morautomation.

Tabla 1-4: Costo de materiales del sistema Morautomation

Cantidad	Material	Precio unitario USD	Precio total USD
Sistema eléctrico y electrónico			
1	Arduino nano	10,00	10,00
1	Fuente conmutada	40,00	40,00
1	Módulo RTC	5,00	5,00
1	Módulo ESP32	15,00	15,00
1	Sensor de temperatura ambiente	10,00	10,00
4	Sensor de humedad	7,00	28,00
1	Disipador	10,00	10,00
1	Distribuidor de voltaje	10,00	10,00
1	Breaker	20,00	20,00
1	Bomba Electrica 2 x 2" Pedrollo	230,00	230,00
1	Relé de estado sólido	10,00	10,00

10	Borneras	1,00	10,00
3	Luces indicadores	5,00	15,00
1	Material para la placa	30,00	30,00
1	Cable para motor #10	15,00	15,00
1	Canaletas - rieldin	20,00	20,00
1	Gabinete metálico	25,00	25,00
3	Electroválvulas hunter	90,00	270,00
1	Módulo relé de 8 canales	10,00	10,00
Total sistema eléctrico y electrónico			783,00

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

4.2 Costo de materiales de los sistemas de riego

La *Tabla 2-4* presenta el costo de los materiales utilizados en la instalación de los sistemas de riego por goteo y aspersión colocados en la plantación de mora.

Tabla 2-4: Costo de materiales de los sistemas de riego

Cantidad	Material	Precio unitario USD	Precio total USD
Sistema de riego por goteo			
1000	Metros Cinta de riego baja presión 1 ½"	0,11	111,00
Sistema de riego por aspersión			
16	Aspersores Xcel Wobbler	6,00	96,00
Total sistemas de riego			207,00

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

Al valor total del sistema Morautomation más el material utilizado para los sistemas de riego, se agregó el valor de *otros gastos* los cuales se indican en la *Tabla 3-4*.

Tabla 3-4: Otros gastos

Cantidad	Material	Precio unitario USD	Precio total USD
Otros			
1	Impresiones 3D	50,00	50,00
1	Movilización	50,00	50,00
Total			100,00

Realizado por: (Pérez y Castillo, 2021)

4.3 Costo total del sistema implementado.

El costo total de la solución implementada fue de fue de 1.090,00 USD, la cual, al ser comparada con las existentes en el mercado, como la del *Programador de riego Automático Profesional marca Rain Bird*, representa un ahorro de aproximadamente el 50%; por lo tanto, el sistema Morautomation puede ser considerado de bajo costo.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema de automatización para el control y monitoreo en tiempo real de las variables que intervienen en el cultivo de la mora, el cual consta de sensores, tarjeta de desarrollo, electroválvulas y módulo ESP32.
- De la prueba de validación de sensores de humedad de suelo y temperatura ambiente se determinó que éstos mantienen el error de medición que por default son de $\pm 3\%$ y $\pm 2\%$ respectivamente, ya que en ningún caso el error absoluto calculado superó al de los equipos patrones, por lo tanto, los sensores no incorporan un error adicional que afecte al proceso de medición dentro del sistema de control implementado.
- De la prueba de estabilización del sistema Morautomation se verificó a través del cálculo del coeficiente de variación tanto del sensor de humedad de suelo como del sensor de temperatura ambiente que éstos no superan el 15%, valor considerado como referencia de estabilidad de un sistema de acuerdo al estudio de la Universidad Tecnológica de Pereira, lo que indica que los dispositivos utilizados en el Morautomation permiten que el prototipo implementado tenga un comportamiento estable, convirtiéndolo en un sistema confiable.
- De la prueba de activación de los sistemas de riego por goteo y por aspersión realizadas por observación, se pudo verificar que no existió error al momento de su funcionamiento, lo que significa que la activación de los sistemas de riego estuvo acorde a los valores parametrizados en la tarjeta de control.
- Del test de homogeneidad de varianzas, aplicado a las lecturas de temperatura, que fueron realizadas como parte del diseño de control de heladas, se comprobó que presentan variaciones homogéneas durante el horario de 18h00 a 08h00 (horario en que se presentan las heladas), es decir, las variaciones de temperatura en ese horario se mantienen constantes. Esto se concluyó al obtener como resultado del test de homogeneidad un valor de significancia superior a 0,05 el cual indica que la hipótesis planteada respecto a si los valores de temperatura presentes en ese horario son semejantes, es verdadera. Esta conclusión permitió programar intervalos más largos de tiempo (30 minutos) entre lecturas del sensor de temperatura ambiente optimizando así el almacenamiento de datos en la tarjeta de control y el consumo energético del sistema.
- De las pruebas de registro de datos generados del sistema Morautomation en la plataforma de ThingSpeak, realizadas por observación directa, se determinó que no existe pérdida de información ya que los datos generados desde el sistema de control (escritos en la interfaz de programación de la tarjeta de control) fueron los mismos que se observaron en tiempo

real dentro de los canales asociados a ThingSpeak, por lo tanto existe integridad de la información que se envió.

- Del análisis de consumo energético del sistema Morautomation se pudo concluir que cuando éste funciona a plena carga consume 38 veces más potencia que cuando se encuentra en modo stand by. Además, si se lo compara con una computadora, su consumo es inferior en un 85,72%, por ende, se considera un sistema de bajo consumo energético.
- Al comparar el costo de implementación del sistema Morautomation con una solución comercial inclusive de características inferiores, se pudo comprobar, que éste representa un ahorro de aproximadamente 50%, lo que significa, que el sistema implementado es de bajo costo.

RECOMENDACIONES

- Ejecutar una mayor cantidad de mediciones con los sensores de humedad y temperatura considerando todos los meses del año, para tener mayor exactitud al parametrizar el sistema de control.
- Replicar la metodología de control desarrollada a otros tipos de cultivo, con características ecológicas similares, como la fresa y el tomate.
- Aplicar protocolos con encriptación de datos, para establecer una comunicación segura hacia las plataformas del Internet de las Cosas.
- Investigar la posibilidad de incorporar sistemas con lógica difusa, que permitan predecir la demanda de agua en un cultivo y la cantidad de nutrientes que necesita.
- Utilizar técnicas actuales de inteligencia artificial que permita el uso eficiente de agua, fertilizantes y un control de plagas.

BIBLIOGRAFÍA

ABARCA, P. El abc de la automatización sistemas de control automático [en línea], 2006 , pp. 3. [Consulta: 03 diciembre 2020] Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sistemas-de-control-automatico.pdf>.

ANAYA, A; et al. Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT) [en línea], 2017. . no. April, pp. 1-9. [Consulta: 12 agosto 2020] Disponible en: https://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016_JornadasFica_IOT.pdf.

ARCOS, M; & SALINAS, R. Diseño de un Prototipo de Sistema Automatizado con Arduino para el Riego en el Cultivo de Fresas. S.l.: 2018.

AUQUILLAS, R. Plan de Mejoramiento para la Producción y Comercialización de Cultivo de Mora [en línea], 2019 . [Consulta: 4 octubre 2020]. Disponible en: <http://157.100.241.244/bitstream/47000/2228/1/UISRAEL-EC-ADME-378.242-2019-069.pdf>.

BARRETT, S. Arduino Microcontroller Processing for Everyone, 2013, pp. 493.

BENNET PRABA, M; et al. IoT Based Smart Water System. Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES, 2018, pp. 1041-1045.

BRASHDI, Z; et al. IoT based Health Monitoring System for Critical Patients and Communication through Think Speak Cloud Platform. 2018 7th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization: Trends and Future Directions, ICRITO 2018, pp. 652-658.

CALIBRACIÓN, R; et al. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma, 2007, pp 5-8. [Consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en: https://fisica.unmsm.edu.pe/rif/previo_files/2020-1/06villegas.pdf.

DEMIN, P. Métodos de riego : fundamentos , usos y adaptaciones. Aporte para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. [en línea], 2014, pp. 1-24. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf.

ENVIRAIOT, A. Innovaciones en la agricultura: avances tecnológicos en el sector | Envira IOT. [en línea]. [Consulta: 29 septiembre 2020]. Disponible en: <https://enviraiot.es/innovaciones-en-la-agricultura-avances-tecnologicos/>.

GONZÁLEZ, J; & JUBILLAR, E. Riego por superficie [en línea], 2014, pp. 1-16. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/17141>.

GUAMÁN, D. *Sistema de Riego por Aspersión para el Cultivo Artesanal de Mora*. S.l.: 2014. s.n.2014.

GUIJARRO, A; et al. Sistema de riego automatizado con arduino. *Espacios*, 2018, vol. 39, pp. 27.

HARIYATI. Инновационные подходы к обеспечению качества в здравоохранении. *Вестник Росздравнадзора*, 2017, vol. 6, pp. 5-9. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Programadores-Hunter-PCC-81163.html>.

HAUSER, C; & WESNER, S. Reviewing Cloud Monitoring: Towards Cloud Resource Profiling. *IEEE International Conference on Cloud Computing, CLOUD*, 2018, vol. 20, pp. 678-685.

INDUSTRIES, I. Programadores Hunter PCC - Agricultura - Programadores. [en línea]. 2019.[Consulta: 6 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Programadores-Hunter-PCC-81163.html>.

INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. [en línea], 2017. Disponible en: <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>.

JIMENEZ, S; et al. Sensores de humedad de tipo capacitivo y resistivo , fabricados con NaCl , KBr y KCl. Humidity sensors of capacitive and resistive type , made with NaCl , KBr and KCl. *Revista Ingeniería UC*, 2013, vol. 20, pp. 83-86.

KIRUTHIKA, R; & UMAMAKESWARI, A. Low cost pollution control and air quality monitoring system using Raspberry Pi for Internet of Things. *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing, ICECDS*, 2018, pp. 2319-2326.

KJELLBY, R; et al. IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT'19) - Limerick, Ireland, 2019, pp. 545-549.

MAHAJAN, P; et al. Precision Actuator Control for on/off Type Solenoid Valves using Pid Control Loop. *IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology, I2CT*, 2019, pp. 1-4.

MAPS, G. Ubicacion Geografica San Juan [en línea]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/place/Iglesia+Católica+de+San+Juan+Bautista/@1.4692837,7>

9.0971402,10z/data=!4m8!1m2!2m1!1siglesia+san+juan!3m4!1s0x91d30fc97252eab9:0x2a6b746627d84319!8m2!3d-1.6340638!4d-78.7824624.

MARTINEZ, V; & SOTO, M. Automatización y telecontrol de sistemas de riego. [en línea]. 2010. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Kq4NiqtcIwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=automatizaci+on+en+la+agricultura&ots=wGFfgH0_I0&sig=gR0D2XCPPwtrbSoXwpZYC2vEP44#v=onepage&q=automatizaci+on+en+la+agricultura&f=false.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Los Riegos Por Superficie. 2017. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/>.

MUHAMMED, A; & UCUZ, D. Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives. 8th International Symposium on Digital Forensics and Security, ISDFS, 2020, pp. 19-22.

MUNICIPIO DE RIOBAMBA. Wi-Fi Gratis Parroquias Rurales de Riobamba. [en línea]. S.I: 2020. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <https://riobamba.com.ec/es-es/chimborazo/riobamba/free-wifi/wifi-gratis-parroquias-rurales-riobamba-a5bzbvsx6#mkp93xjn>.

MUÑOZ, R. Producción de mora de castilla (*Rubus glaucus*) en acolchados con diferentes colores de plástico [en línea]. (Pregrado). Unidad de estudios a distancia ingeniería agropecuaria, Quevedo, Los Ríos, Ecuador, 2015, pp. 46-52. [Consulta: 6 diciembre 2020]. Disponible en: <http://190.15.134.12/bitstream/43000/2397/1/T-UTEQ-0307.pdf>.

ORELLANA, F; & JAZMÍN, K. Diseño de un sistema de riego para la implementación de cultivos automatizados en el recinto playa seca del cantón el triunfo (tesis). (Pregrado). Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Administrativas, Guayas, Ecuador, 2018. pp 37-39.

PERDIGONES, A; et al. Sensores para el control climático en invernadero. Horticultura [en línea], 2004., vol. 179, pp. 44-49. [Consulta: 05 mayo 2020]. Disponible en: http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh179/44_49.pdf.

PÉREZ, V. *Plan de Fertirrigación en el Cultivo de Mora de Castilla*, 2011. vol. 11, no. 2, pp. 10-14.

PROBELTE, F. Tecnología utilizada en agricultura: los últimos avances [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.probelte.es/noticia/es/tecnologia-utilizada-en-agricultura-descubre-los-ultimos-avances/159>.

SALTO, A. El agua de riego y su incidencia en la calidad de vida de las personas de la comunidad

guambaine, parroquia angamarca, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, (tesis). (Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Cotopaxi, 2015, pp 60-72.

SENNINGER, I. Goteo vs Riego por Aspersión Senninger Irrigation. [en línea], 2019. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.senninger.com/es/news/2018/06/27/goteo-vs-riego-por-aspersion>.

SHOCK, C; & WELCH, T. El riego por goteo introducción, técnicas para la agricultura sostenible [en línea], 2013, pp. 9. [Consulta: 05 febrero 2021]. Disponible en: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/em8782-s>.

THALLURI, L; et al. A novel and smart IoT system for real time agriculture applications with IaaS cloud computing. International Conference on Computer Communication and Informatics, 2020, pp. 1-6.

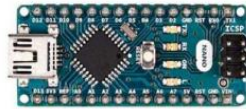
UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ. Sensores y Transductores. 2014, pp. 34.

WARD, J; & BARKER, A. Observing the clouds: a survey and taxonomy of cloud monitoring. Journal of Cloud Computing, 2014, vol. 3, no. 1, pp 65.

ZHAO, J; et al. *The study and application of the IOT technology in agriculture*. Proceedings 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, ICCSIT 2010, 2010. . vol. 2, pp. 462-465.

ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ARDUINO NANO



ARDUINO NANO

Code: A000005

The **Arduino Nano** is a compact board similar to the UNO.

The Arduino Nano is a small, complete, and breadboard-friendly board based on the ATmega328 (Arduino Nano 3.x). It has more or less the same functionality of the Arduino Duemilanove, but in a different package. It lacks only a DC power jack, and works with a Mini-B USB cable instead of a standard one.

Getting Started

You can find in the **Getting Started** section all the information you need to configure your board, use the **Arduino Software (IDE)**, and start tinkering with coding and electronics.

<https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Memory

The ATmega328 has 32 KB, (also with 2 KB used for the bootloader). The ATmega328 has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM.

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Nano can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial:** 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the FTDI USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts:** 2 and 3. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the `attachInterrupt()` function for details.
- **PWM:** 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.
- **SPI:** 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Nano has 8 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the `analogReference()` function. Analog pins 6 and 7 cannot be used as digital pins. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I2C:** 4 (SDA) and 5 (SCL). Support I2C (TWI) communication using the `Wire` library (documentation on the [Wiring website](#)).
- There are a couple of other pins on the board:
- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.
 - **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

TECH SPECS

Microcontroller	ATmega328
Architecture	AVR
Operating Voltage	5 V
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
Clock Speed	16 MHz
Analog I/O Pins	8
EEPROM	1 KB
DC Current per I/O Pins	40 mA (I/O Pins)
Input Voltage	7-12 V
Digital I/O Pins	23
PWM Output	6
Power Consumption	19 mA
PCB Size	18 x 45 mm
Weight	7 g
Product Code	A000005

• OSH: Schematics

The Arduino Nano is open-source hardware! You can build your own board using the following files:

EAGLE FILES IN .ZIP

<https://content.arduino.cc/assets/arduino-nano-reference.zip>

SCHEMATICS IN .PDF

https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Nano_Rev3.2-SCH.pdf

Power

The Arduino Nano can be powered via the Mini-B USB connection, 6-20V unregulated external power supply (pin 30), or 5V regulated external power supply (pin 27). The power source is automatically selected to the highest voltage source.

Communication

The Arduino Nano has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An FTDI FT232RL on the board channels this serial communication over USB and the FTDI drivers (included with the Arduino software) provide a virtual com port to software on the computer. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the FTDI chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1). A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Nano's digital pins. The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a `Wire` library to simplify use of the I2C bus. To use the SPI communication, please see ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Nano can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Duemilanove or Nano w/ ATmega328" from the Tools > Board menu (according to the microcontroller on your board). The ATmega328 on the Arduino Nano comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol. You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header using Arduino ISP or similar.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Nano is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the FT232RL is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Nano is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Nano. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a

connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

ANEXO B: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FC-28

QUÉ ES UN HIGRÓMETRO FC-28?

LUIS LLAMAS - Ingeniería, informática y diseño

(Versión 13-3-19)

Un higrómetro de suelo FC-28 es un sensor que mide la humedad del suelo. Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo.

El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. No tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, pero tampoco es necesario para controlar un sistema de riego.

El FC-28 se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada cuando la humedad supera un cierto umbral.

Los valores obtenidos van desde 0 sumergido en agua, a 1023 en el aire (o en un suelo muy seco).

Un suelo ligeramente húmedo daría valores típicos de 600-700.

Un suelo seco tendrá valores de 800-1023.

La salida digital dispara cuando el valor de humedad supera un cierto umbral, que ajustamos mediante el potenciómetro. Por tanto, obtendremos una señal LOW cuando el suelo no está húmedo, y HIGH cuando la humedad supera el valor de consigna.

El valor concreto dependerá del tipo de suelo y la presencia de elementos químicos, como fertilizantes. Además, no todas las plantas requieren la misma humedad, por lo que lo mejor es que hagáis una pequeña calibración en el terreno real.

PRECIO

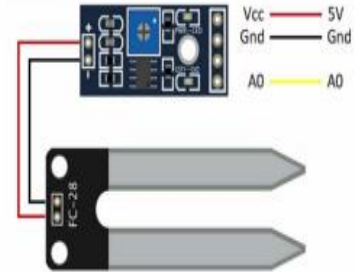
El sensor de humedad FC-28 es realmente barato. Podemos encontrarlo por 0,85€ en vendedores internacionales de Ebay y Aliexpress.



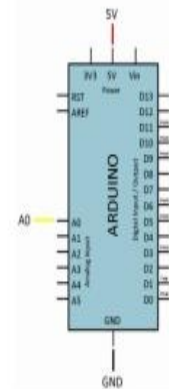
ESQUEMA DE MONTAJE

El esquema eléctrico es sencillo. Alimentamos el módulo conectando GND y 5V a los pines correspondientes de Arduino.

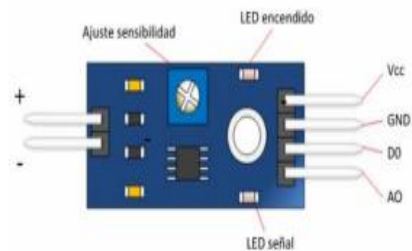
Ahora si queremos usar la lectura analógica, conectamos la salida A0 a una de las entradas analógicas de Arduino.



Mientras que la conexión vista desde Arduino quedaría así,



Si quisiéramos emplear el valor digital, que se ajusta con el potenciómetro de la placa, en su lugar conectaríamos la salida D0 del sensor a una entrada digital de Arduino.



ANEXO C: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FC-27



Vaisala YL-83 Rain Detector

Rain and snow are quickly and accurately detected with the YL-83 Rain Detector. The YL-83 operates via droplet detection rather than by signal level threshold.

A special delay circuitry allows about two-minute interval between raindrops before assuming an OFF (no rain) position. This enables the sensor to accurately distinguish between rain cessation and light rain.

The YL-83 also features an analog Rain Signal for estimating rain intensity. Since this signal is proportional to the percentage of moist or wet area on the sensor plate, rain intensity has a direct impact on the amplitude and variation of this analog signal.

The YL-83 sensor is positioned at a 30° angle. This design, together with the internal heating element, ensures that the surface dries quickly, an essential factor in calculating intensity. The same heating element also protects the surface from fog and condensed moisture, and is activated at low temperatures in order to melt snow, thus allowing snow detection. Sensor performance is not affected by reasonable amounts of dirt and dust due to droplet detection.

It is intended to be used in areas with only rain or wet/moist snow precipitation.

Features/Benefits

- Fast and accurate precipitation detection (ON/OFF)
- Rain intensity measurement with processing unit
- Maintenance free
- Heating element for keeping sensor free of snow and condensed moisture, and for quick drying

Technical Data

Sensor

Capacitive principle, thick layer sensor
RainCap™ with a thin glass shield. Integrated heater element.

Sensitivity of Rain Detection

Minimum wet area 0.05 cm²
OFF-delay (active) < 5 min

Physical

Sensor plate
Sensing area 7.2 cm²
Angle 30°
Housing material Polypropylene
Windshield and support bracket Aluminum
Moisture shield Polyurethane
Dimensions (h x w x l)
With wind shield 110 x 80 x 175 mm
Without wind shield 90 x 46 x 157 mm
Weight 500 g
Cable length 4 m

Electrical

Supply voltage 12 VDC ± 10 %
Supply current
Typical less than 150 mA
Maximum 260 mA
Heater OFF 25 mA
Sensor plate
Heating power 0.5 ... 2.3 W

Output

Rain ON/OFF
Open collector, active low signal corresponds to rain
Maximum voltage 15 V
Maximum current 50 mA
Analog output 1...3 V (wet, dry)
Frequency output 1500...6000 Hz, non-calibrated

Input

Control to switch heater OFF
Open circuit input enables the heater.
Connection to GND disables the heater.
Contact rating min. 15 V, 2 mA

Ground Wiring

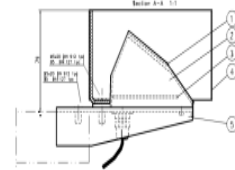
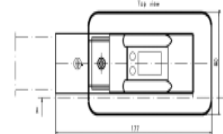
Separate ground wires for signal and heater

Temperature Range

Operating -15...+55 °C (+5...+131 °F)
Storage -40...+65 °C (-40...+149 °F)

Mounting

By one screw (M5 x 20 mm) to sensor arm



- Sensor, RainCap™
- Polyurethane moisture shield
- Component assembly
- Wind shield
- Mounting plate

VAISALA

Please contact us at
www.vaisala.com/requestinfo


www.vaisala.com



Scan the code for more information.


Ref: B010018EN-B ©Vaisala 2015
This material is subject to copyright protection, with all copyrights reserved by Vaisala and its individual partners. All rights reserved. Any illegitimate product names are trademarks of Vaisala or its subsidiaries or partners. All other trademarks are the property of their respective owners. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, without the prior written consent of Vaisala or its subsidiaries or partners. All specifications – technical included – are subject to change without notice.

ANEXO D: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DHT21



Temperature and humidity module

AM2301 Product Manual



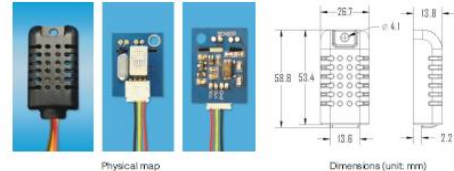
www.aosong.com

AOSONG

Temp. Humidity & Dew point measurement experts

1. Product Overview

AM2301 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is the one that contains the compound has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensor. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor wet components and a high-precision temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The form of procedure, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the heartbeat to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Products for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special packages according to user needs.



2. Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, home appliances, humidity regulator, medical, weather stations, and other humidity measurement and control and so on.

3. Features

Ultra-low power, the transmission distance, fully automated calibration, the use of capacitive humidity sensor, completely interchangeable, standard digital single-bus output, excellent long-term stability, high accuracy temperature measurement devices.

4. The definition of single-bus interface

4.1 AM2301 Pin assignments

Pin	Color	Name	Description
1	Red	VDD	Power (3.3V~5.2V)
2	Yellow	SDA	Serial data, Dual-port
3	Black	GND	Ground
4		NC	Empty

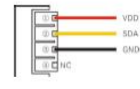


FIG1: AM2301 Pin Assignment

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd. TEL: 020-86042809 / 36380552 www.aosong.com

- 1 -

AOSONG

Temp. Humidity & Dew point measurement experts

4.2 Power supply pins (VDD GND)

AM2301 supply voltage range 3.3V ~ 5.2V, recommended supply voltage is 5V.

4.3 Serial data (SDA)

SDA pin is I²C structure for reading, writing sensor data. Specific communication timing, see the detailed description of the communication protocol.

5. Sensor performance

5.1 Relative humidity

Table 2: AM2301 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution		0.1			%RH
Range		0	99.9		%RH
Accuracy ^[1]	25°C	±3			%RH
Repeatability		±1			%RH
Exchange		Completely interchangeable			
Response ^[2]	1/(60/36)	<6			S
Stability		±0.3			%RH
Drift ^[3]	Typical	<0.5			%RH/yr

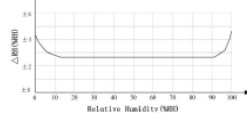


FIG2: At25°C The error of relative humidity

5.2 Temperature

Table 3: AM2301 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution		0.1			°C
Range		-40		80	°C
Accuracy		±0.3		±1	°C
Repeatability		±0.2			°C
Exchange		Completely interchangeable			
Response	1/(60/36)	<1.0			S
Drift ^[4]		±0.3			°C/yr

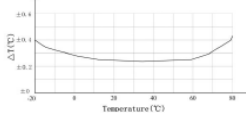


FIG3: The maximum temperature error

6. Electrical Characteristics

Electrical characteristics, such as energy consumption, high, low, input, output voltage, depending on the power supply. Table 4 details the electrical characteristics of the AM2301, if not identified, said supply voltage of 5V. To get the best results with the sensor, please design strictly in accordance with the conditions of design in Table 4.

AOSONG

Temp. Humidity & Dew point measurement experts

Table 4: AM2301 DC Characteristics

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.2	V
	Dissipation	10	15		mA
	Measurement	500			mA
Power consumption ^[4]	Average	300			mA
	Low level output voltage	I _L ^[5]	0	300	mV
High output voltage	R _P <25 kΩ	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	Rise	70%		100%	VDD
	R _{pu} ^[6]	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60
Output current	turn on		8		mA
	turn off		10	20	mA
Sampling period		2			S

[1] the accuracy of the factory inspection, the sensor 25 ° C and 5V, the accuracy specification of test conditions, it does not include hysteresis and nonlinearity, and it only suitable for non-condensing environment.
 [2] to achieve an order of 60% of the time required under the conditions of 25 ° C and 1m / s airflow.
 [3] in the volatile organic compounds, the value may be higher. See the manual application to note information.
 [4] this value at VDD = 5.0V when the temperature is 25 ° C, 2S / time, under the conditions of the average.
 [5] low output current.
 [6] due the pull-up resistor.

7. Single-bus communication (ONE-WIRE)

7.1 Typical circuits for single bus

Microprocessor and AM2301 connection typical application circuit is shown in Figure 4. Single bus communication mode, pull the SDA microprocessor I / O port is connected.

Special instructions of the single-bus communication:

1. Typical application circuit recommended in the short cable length of 30 meters on the 5.1K pull-up resistor pullup resistor according to the actual situation of lower than 30 m.
2. With 3.3V supply voltage, cable length shall not be greater than 100cm. Otherwise, the line voltage drop will lead to the sensor power supply, resulting in measurement error.
3. Read the sensor minimum time interval for the 2S; read interval is less than 2S, may cause the temperature and humidity are not allowed or communication is unsuccessful, etc..
4. Temperature and humidity values are each read out the results of the last measurement For real-time data that need continuous read twice, we recommend repeatedly to read sensors, and each read sensor interval is greater than 2 seconds to obtain accurate data.

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd. TEL: 020-86042809 / 36380552 www.aosong.com

- 3 -

ANEXO E: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HIGRÓMETRO ANALÓGICO QYCL



Descripción del producto

Material: ABS

Rango de medición de humedad: 10RH ~ 99% RH

Precisión de humedad: $\pm 3\%$

Resolución de humedad: $\pm 3\%$

Función: temperatura y humedad interior, visualización del valor máximo

Fuente de alimentación: batería de 1 * 1.5V AAA (no incluida)

Tamaño del artículo: 85 * 90 * 20 mm / 3.3 * 3.5 * 0.8in

Peso del artículo: 71 g / 2.5 oz

Tamaño del paquete: 15.5 * 12.5 * 2.5cm / 6.1 * 4.9 * 1.0in

Moisture/Light/pH Tester, Gardening Tool Kit for Plants Care, No Battery Required, Suitable for Indoor & Outdoor, Potted Plants, Gardens, lawn, Farms, Moisture Meter

Marca: FOMOOUR

★★★★☆ 84 calificaciones

Precio: **US\$ 10.99** + US\$ 70.27 de envío y depósito de derechos de importación a Ecuador [Detalles](#)

- Medidor de humedad 3 en 1: puedes utilizar el medidor de plantas para medir la luz, la humedad y el pH del suelo. La función tres en uno del medidor de humedad puede ayudarte a entender el estado del suelo en tiempo real. El probador de suelo profesional de alta precisión es una medición más precisa. Este medidor de humedad para plantas en maceta es un regalo para amantes del jardín.
- Medidor de pH preciso y sensible: las plantas medidoras de humedad a través de la medición de doble aguja, estas dos sondas de humedad pueden medir científicamente y con precisión el valor de humedad y pH de la vegetación, y detectar cambios en el suelo, por lo que las plantas se pueden plantar con datos fiables.
- Medidor de humedad del suelo fácil de operar: medidor de humedad del suelo después de insertar la maceta, no tienes que esperar a ver los datos, el probador de pH de la planta cambia de 3 teclas, conveniente y rápido. El kit de prueba de tierra se basa en electrodos, no requiere pilas y tiene datos fiables. El probador de humedad es una herramienta ideal para plantar y jardinería.

How To Use



¿Cómo utilizar el probador de suelo?

Paso 1: Inserte la sonda del medidor de humedad de la planta en el suelo lo más profundo posible. Aproximadamente 2/3 de la longitud.

Paso 2: Diapositiva de tres teclas para seleccionar los datos que desea medir MOIST/LIGHT/PH.

Paso 3: No hay necesidad de esperar, deslice el botón del medidor de riego de la planta para obtener datos en tiempo real.

Paso 4: después de su uso, limpie el medidor de humedad.

Nota:

1. No lo fuerces en un suelo muy duro ni toques objetos duros ya que será fácil dañar la sonda.
2. No lo use para probar agua pura u otros líquidos. Solo se puede utilizar para medir el suelo.
3. No deje el medidor en el suelo durante mucho tiempo.

4. Por favor, limpie y limpie la sonda después de cada uso.


5. Si el suelo está demasiado seco, el indicador no se moverá y regarlo antes de probarlo.

ANEXO F: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TERMÓMETRO RAOM TP-

50

High Accuracy
Feel Confident in Your Readings!

Temperature Accuracy: $\pm 2^{\circ}\text{C}$
Humidity Accuracy: $\pm 2-3\% \text{ RH}$



Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom

Higrómetro de interior ThermoPro Tp50 Digital, termómetro de control de humedad con calibrador de humedad por temperatura

Marca: ThermoPro

★★★★★ 71,729 calificaciones

#1 más vendido en Termómetros Interiores

Precio: **US\$ 12.99** + US\$ 70.10 de envío y depósito de derechos de importación a Ecuador [Detalles](#)

Cantidad del paquete: 1

1	2
US\$ 12.99	--

- Termómetro higrómetro con el monitor de temperatura y humedad; el termómetro de ambiente muestra la temperatura en grados Fahrenheit o Celsius.
- Medidor de humedad con ícono de nivel de humedad que indica las condiciones del aire: seco/cómodo/húmedo.
- Higrómetro termómetro digital que muestra la temperatura alta y baja y los registros de humedad.
- Tablero totalmente inalámbrico y diseño para montar con imanes; funciona con una pila AAA (incluida).
- Garantiza el buen control de la humedad interior trae importantes beneficios para la piel, alérgenos y otros beneficios de salud.

Temperature range: **-58°F ~ 158°F (-50 °C ~ 70 °C)**

Humidity range: **10% ~ 99%**

Temperature tolerance: **$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1.1^{\circ}\text{F}$)**

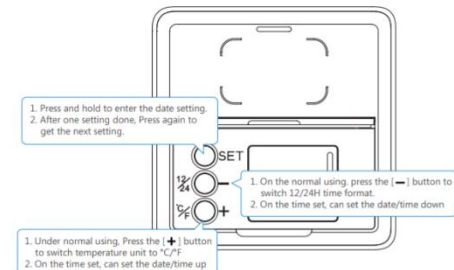
Humidity tolerance: **$\pm 2\%$ (30% - 80%)
 $\pm 3\%$ (< 30%, > 80%)**

Measurement frequency: **10S**

High/low records: **24 hours / All time**

Dimensions: **3.3 * 2.8 * 0.8"**

Overview Back of Machine




1. Press and hold to enter the date setting.
2. After one setting done, Press again to get the next setting.

1. On the normal using, press the [-] button to switch 12/24H time format.
2. On the time set, can set the date/time down

1. Under normal using, Press the [+] button to switch temperature unit to °C/°F
2. On the time set, can set the date/time up

Chapter 1 Date and Time Setting

1. Press and hold the [SET] button to enter the DATE setting, the Year "2020" begins to flash, press the [+] to set the Year.
2. Press the [SET] button again, the Month "1" begin to flash, press the [+] or [-] button to adjust.
3. Press the [SET] button again, the Day "1" begins to flash, press the [+] or [-] button to adjust.

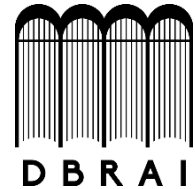


Press and hold for quick adjustment.

SET — Date Button
+ — Plus Button
- — Minus Button



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y
RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA
INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 03/09/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Renato Jesús Perez Valverde Cristhian Anthony Castillo Morejón
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Ingeniería Electrónica y Automatización
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto 1669-DBRA-UTP-2021

