



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

#### **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO Y CONTROL EN TIEMPO REAL PARA EL RIEGO EN CULTIVOS DE CACAO”**

##### **Trabajo de titulación**

**TIPO: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO**

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTORA: KERLY ESTHEFANNY SÁNCHEZ CAJAS**

**DIRECTOR: ING. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLÁN**

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Kerly Esthefanny Sánchez Cajas

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

Yo, Kerly Esthefanny Sánchez Cajas, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo 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, 17 de Agosto del 2021



**Kerly Esthefanny Sánchez Cajas**

**060357564-8**

**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; dispositivo tecnológico **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO Y CONTROL EN TIEMPO REAL PARA EL RIEGO EN CULTIVOS DE CACAO”**, realizado por la señorita: KERLY ESTHEFANNY SÁNCHEZ CAJAS, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros 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. Jorge Luis Paucar Samaniego <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO</b>	2021-08-24
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado digitalmente por EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN Fecha: 2021.08.24 11:54:00 -05'00'	2021-08-24
Ing. Wilson Armando Zúñiga Vinueza <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado digitalmente por WILSON ARMANDO ZUÑIGA VINUEZA Dpto. control.SON.ARMANDO. ZUÑIGA VINUEZA,gr@IESPOL CHIMBORAZO.ec/IESPOL/ARMAN no=Certificado de Clase 2 de Persona Física (C.2) (FISMA) emisor@iespol.edu.ec Sólo se permite este documento Usador: Fecha:2021-08-27 11:56:00:00	2021-08-24

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi madre quien me apoyo desde el primer momento en que decidí seguir esta especialidad, por darme fuerzas para no rendirme, enseñarme a ser fuerte y seguir adelante con cada obstáculo que se presente en mi camino, a mi padre por brindarme sus conocimientos y su guía a lo largo de la carrera, por darme su apoyo moral y económico y finalmente a mi hermana por ser mi modelo a seguir por motivarme para salir adelante siempre con su ejemplo y dedicación.

Kerly

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por regalarme vida y salud para culminar una más de mis metas, por brindarme fuerza para seguir adelante a pesar de todos los inconvenientes que se han presentado a lo largo de estos años, por ser mi guía en este largo camino que apenas empieza, agradezco a mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado día tras día a lo largo de todo este proceso a mi hermana por brindarme su ejemplo y su fortaleza para enfrentar mi presente, agradezco a las personas que compartieron conmigo su amistad, cariño y su apoyo, a mis profesores y director de tesis por brindarme sus conocimientos y guía para poder culminar con este trabajo.

Kerly

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	20

## CAPÍTULO I

<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Cultivos de Cacao en el Ecuador .....</b>	<b>3</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Factores que afectan los cultivos de cacao .....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Requerimientos para el cultivo de Cacao.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2.1</i>	<i>Textura del suelo.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2.2</i>	<i>Humedad del suelo.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3</i>	<i>Variedades de cacao en la región litoral del Ecuador.....</i>	<i>6</i>
<b>1.2</b>	<b>Realidad de la zona .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3</b>	<b>Riego por aspersión.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4</b>	<b>Componentes para la automatización de sistemas de riego por aspersión .....</b>	<b>9</b>
<i>1.4.1</i>	<i>Equipo de bombeo.....</i>	<i>9</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Electroválvulas.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.3</i>	<i>Aspersores .....</i>	<i>10</i>
<b>1.5</b>	<b>Red de sensores inalámbrica .....</b>	<b>11</b>
<i>1.5.1</i>	<i>Elementos de una red de sensores inalámbrica.....</i>	<i>11</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Topologías .....</i>	<i>12</i>
<i>1.5.3</i>	<i>Sensores.....</i>	<i>12</i>
<i>1.5.3.1</i>	<i>Sensor de Humedad.....</i>	<i>13</i>
<i>1.5.3.2</i>	<i>Sensor de Temperatura .....</i>	<i>13</i>
<i>1.5.3.3</i>	<i>Sensor de rayos ultravioleta.....</i>	<i>14</i>
<i>1.5.3.4</i>	<i>Sensor de Nivel.....</i>	<i>15</i>
<b>1.6</b>	<b>Tecnologías de comunicación inalámbrica .....</b>	<b>16</b>
<i>1.6.1</i>	<i>Tabla comparativa de tecnologías de comunicación inalámbrica .....</i>	<i>17</i>
<b>1.7</b>	<b>Tarjetas de desarrollo .....</b>	<b>17</b>

1.7.1	<i>Tabla comparativa de tarjetas de desarrollo</i> .....	18
-------	----------------------------------------------------------	----

## CAPÍTULO II

2	<b>PROPUESTA Y DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO</b> .....	19
2.1	<b>Requerimientos del sistema electrónico</b> .....	19
2.2	<b>Concepción general del sistema electrónico</b> .....	20
2.3	<b>Diseño de la arquitectura del sistema electrónico</b> .....	21
2.3.1	<i>Nodos sensor</i> .....	22
2.3.2	<i>Nodo control</i> .....	23
2.4	<b>Selección de Hardware para el sistema electrónico</b> .....	24
2.4.1	<i>Arduino MEGA2560</i> .....	24
2.4.2	<i>Arduino NANO</i> .....	25
2.4.3	<i>RTC DS3231</i> .....	26
2.4.4	<i>Lora Transceiver SX1278</i> .....	26
2.4.4.1	<i>Descripción de los terminales del dispositivo Transceiver SX1278</i> .....	27
2.4.5	<i>Sensor de Humedad YL-69</i> .....	28
2.4.6	<i>Sensor de Temperatura DTH11</i> .....	29
2.4.7	<i>Sensor ultravioleta UV ML8511</i> .....	30
2.4.8	<i>Sensor de nivel de tipo flotador</i> .....	30
2.4.9	<i>Relé</i> .....	31
2.4.10	<i>Electroválvula Hunter 2''</i> .....	32
2.4.11	<i>Pantalla LCD 16x4</i> .....	32
2.4.12	<i>Cargador Solar</i> .....	33
2.4.12.1	<i>Selección de cargador solar en base a la corriente requerida</i> .....	33
2.5	<b>Esquemas de conexión electrónica</b> .....	33
2.5.1	<i>Esquema de conexión nodos sensor</i> .....	34
2.5.2	<i>Esquema de conexión nodo control</i> .....	35
2.6	<b>Diseño de software para el sistema electrónico</b> .....	37
2.6.1	<i>Requerimientos software para los nodos sensor</i> .....	37
2.6.2	<i>Requerimientos software para el nodo control</i> .....	37
2.7	<b>Software de Desarrollo</b> .....	38
2.7.1	<i>Software de Desarrollo IDE Arduino</i> .....	38
2.7.2	<i>Software de Desarrollo CorelDRAW 2020</i> .....	38
2.7.3	<i>Diagrama de flujo nodos sensor</i> .....	38
2.7.4	<i>Diagrama de flujo nodo control</i> .....	41
2.7.5	<b>Comunicación de la tecnología LoRa</b> .....	44
2.7.5.1	<i>Dispositivo Transmisor (nodos sensor)</i> .....	44
2.7.5.2	<i>Dispositivo Receptor (nodo control)</i> .....	45



2.8	Diseño de las cajas de protección para los nodos sensor .....	45
-----	---------------------------------------------------------------	----

### CAPÍTULO III

3	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO .....	47
3.1	Ubicación de los nodos sensor y nodo control instalados.....	47
3.2	Prueba 1: Validación de sensores climáticos .....	50
3.2.1	<i>Prueba de validación de sensor de temperatura DTH11.....</i>	<i>50</i>
3.2.2	<i>Prueba de validación de sensor de humedad YL-69.....</i>	<i>52</i>
3.3	Prueba 2: Estabilidad en el nodo sensor .....	54
3.4	Prueba 3: Alcance de la comunicación inalámbrica .....	56
3.5	Prueba 4: Visualización de lecturas y mensajes en LCD del sistema electrónico	58
3.6	Prueba 5: Almacenamiento de datos en microSD.....	59
3.7	Prueba 6: Tiempo de riego del sistema electrónico.....	60
3.8	Prueba 7: Consumo de potencia del sistema electrónico .....	62
3.9	Prueba 8: Análisis de autonomía del cargador solar. ....	64

### CAPÍTULO IV

4	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	66
4.1	Comparación de costos de dispositivos comerciales con el sistema electrónico...	67

CONCLUSIONES.....	69
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	70
----------------------	----

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Factores climáticos para el cultivo de cacao. ....	5
<b>Tabla 2-1:</b>	Tipos de texturas del suelo .....	5
<b>Tabla 3-1:</b>	Parámetros de funcionamiento de la motobomba.....	7
<b>Tabla 4-1:</b>	Tabla comparativa de sensores de Humedad del suelo .....	13
<b>Tabla 5-1:</b>	Tabla comparativa de sensores de temperatura .....	14
<b>Tabla 6-1:</b>	Tabla comparativa de sensores de nivel. ....	15
<b>Tabla 7-1:</b>	Tabla comparativa de tecnologías de comunicación inalámbricas.....	17
<b>Tabla 8-1:</b>	Tabla comparativa de tarjetas de desarrollo .....	18
<b>Tabla 1-2:</b>	Características técnicas del Arduino MEGA 2560.....	25
<b>Tabla 2-2:</b>	Características técnicas del Arduino NANO .....	25
<b>Tabla 3-2:</b>	Descripción de terminales de RTC DS3231.....	26
<b>Tabla 4-2:</b>	Características técnicas de Lora Transceiver SX1278.....	27
<b>Tabla 5-2:</b>	Descripción de los terminales del dispositivo Transceiver SX1278.....	28
<b>Tabla 6-2:</b>	Características técnicas del sensor YL-69 .....	29
<b>Tabla 7-2:</b>	Características técnicas del sensor DTH11 .....	29
<b>Tabla 8-2:</b>	Características técnicas del sensor ultravioleta UV ML8511 .....	30
<b>Tabla 9-2:</b>	Características técnicas del sensor de nivel de tipo flotador. ....	31
<b>Tabla 10-2:</b>	Características técnicas de Relé 5VDC .....	31
<b>Tabla 11-2:</b>	Características técnicas de la Electroválvula 2’’ .....	32
<b>Tabla 12-2:</b>	Consumo de Corriente de los elementos del nodo sensor. ....	33
<b>Tabla 13-2:</b>	Conexión modulo Lora SX1278 y Arduino Nano.....	35
<b>Tabla 14-2:</b>	Conexión modulo Lora SX1278 y Arduino MEGA.....	36
<b>Tabla 15-2:</b>	Librerías para la programación en Nodos sensor. ....	40
<b>Tabla 16-2:</b>	Funciones internas para Nodos sensor.....	40
<b>Tabla 17-2:</b>	Librerías para la programación en Nodo control.....	42
<b>Tabla 18-2:</b>	Funciones internas para Nodos sensor.....	42
<b>Tabla 1-3:</b>	Ubicación de los nodos que componen el sistema electrónico.....	48
<b>Tabla 2-3:</b>	Muestras realizadas por el medidor de humedad AMT300 y Sensor DTH11 .....	51
<b>Tabla 3-3:</b>	Mediciones con el sensor de humedad YL-69 y el dispositivo AMT300. ....	53
<b>Tabla 4-3:</b>	Mediciones de temperatura, humedad, radiación y voltaje. ....	55
<b>Tabla 5-3:</b>	Mediciones de distancia para alcance de tecnología LoRa. ....	57
<b>Tabla 6-3:</b>	Resultados de difusión de mensajes en el dispositivo LCD. ....	58
<b>Tabla 7-3:</b>	Datos recolectados por los nodos sensor. ....	60
<b>Tabla 8-3:</b>	Comparación de tiempo de riego.....	61
<b>Tabla 9-3:</b>	Consumo energético del sistema electrónico.....	63

<b>Tabla 10-3:</b>	Muestras del consumo de batería por cada día de prueba. ....	65
<b>Tabla 1-4:</b>	Detalle de costos del sistema electrónico. ....	66
<b>Tabla 2-4:</b>	Comparación de costos de dispositivos. ....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Plantación cacaotera.....	3
<b>Figura 2-1:</b>	Sistema de riego por aspersión .....	9
<b>Figura 3-1:</b>	Equipo de bombeo .....	10
<b>Figura 4-1:</b>	Tipos de funcionamiento de electroválvulas.....	10
<b>Figura 5-1:</b>	Aspersor tipo cañón. ....	11
<b>Figura 6-1:</b>	Red de sensores inalámbrica con topología tipo estrella. ....	12
<b>Figura 7-1:</b>	Intervalos de niveles a exposición de rayos UV. ....	15
<b>Figura 1-2:</b>	Etapas de la metodología para el desarrollo del sistema electrónico. ....	19
<b>Figura 2-2:</b>	Concepción general del sistema.....	21
<b>Figura 3-2:</b>	Arduino MEGA 2560. ....	24
<b>Figura 4-2:</b>	Arduino NANO.....	25
<b>Figura 5-2:</b>	RTC DS3231.....	26
<b>Figura 6-2:</b>	Transceiver SX1278.....	27
<b>Figura 7-2:</b>	Sensor YL-69 .....	28
<b>Figura 8-2:</b>	Sensor de Temperatura DTH11 .....	29
<b>Figura 9-2:</b>	Sensor UVML8511 .....	30
<b>Figura 10-2:</b>	Sensor de nivel de tipo flotador .....	31
<b>Figura 11-2:</b>	Relé 5VDC.....	31
<b>Figura 12-2:</b>	Electroválvula Hunter 2'' .....	32
<b>Figura 13-2:</b>	LCD 16x4 .....	32
<b>Figura 14-2:</b>	Cargador Solar .....	33
<b>Figura 15-2:</b>	Esquema de conexiones del nodo sensor .....	34
<b>Figura 16-2:</b>	Esquema de conexiones del nodo control .....	36
<b>Figura 17-2:</b>	Separación de datos en el nodo control.....	44
<b>Figura 18-2:</b>	Lectura de datos recibidos por el Nodo Control .....	45
<b>Figura 19-2:</b>	Diseño de cajas de protección para los nodos sensor.....	46
<b>Figura 1-3:</b>	Ubicación de nodos sensor y control. ....	47
<b>Figura 2-3:</b>	Nodo sensor con cargador solar (izquierda), nodos sensor (derecha).....	48
<b>Figura 3-3:</b>	Nodo control implementación externa / interna.....	48
<b>Figura 4-3:</b>	Nodos sensor 1(izquierda) y nodo sensor 2 (derecha) .....	49
<b>Figura 5-3:</b>	Electroválvulas instaladas en los postes de riego.....	49
<b>Figura 6-3:</b>	Motobomba utilizada en el riego (izquierda), reservorio natural (derecha).....	50
<b>Figura 7-3:</b>	Medición con AMT300 (izquierda), visualización de datos LCD (derecha). ....	51
<b>Figura 8-3:</b>	Mediciones de humedad suelo (izquierda), monitor serial Arduino (derecha)..	52

<b>Figura 9-3:</b>	Datos en el archivo .txt (izquierda), datos en Microsoft Excel(derecha).....	59
<b>Figura 10-3:</b>	Mediciones en el nodo Sensor voltaje (izquierda) / corriente (derecha).....	62
<b>Figura 1-4:</b>	Dispositivo G7-AD-SH.....	67
<b>Figura 2-4:</b>	Programador Hydrawise Hunter. ....	68

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Arquitectura del sistema electrónico .....	22
<b>Gráfico 2-2:</b>	Diagrama de bloques del nodo sensor 1 y 2. ....	22
<b>Gráfico 3-2:</b>	Diagrama de bloques del nodo control.....	24
<b>Gráfico 4-2:</b>	Diagrama de Flujo Nodos Sensor.....	39
<b>Gráfico 5-2:</b>	Diagrama de flujo para inicialización del nodo control. ....	41
<b>Gráfico 6-2:</b>	Diagrama de flujo para inicialización del nodo control. ....	43
<b>Gráfico 1-3:</b>	Valores de humedad y temperatura. ....	53

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b>	Cálculo de Humedad Aprovechable .....	6
<b>Ecuación 1-3:</b>	Cálculo de la media aritmética.....	54
<b>Ecuación 2-3:</b>	Cálculo de la desviación estándar.....	54
<b>Ecuación 3-3:</b>	Cálculo del coeficiente de variación.....	55
<b>Ecuación 4-3:</b>	Calculó de potencia.....	62
<b>Ecuación 5-3:</b>	Cálculo de voltaje promedio de salida.....	64
<b>Ecuación 6-3:</b>	Cálculo de corriente promedio de salida.....	64
<b>Ecuación 7-3:</b>	Cálculo de la potencia del nodo Sensor.....	65
<b>Ecuación 8-3:</b>	Cálculo del consumo de la batería.....	65
<b>Ecuación 9-3:</b>	Cálculo del tiempo de autonomía.....	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1:** Hojas técnicas de los elementos que componen el sistema electrónico.

**Anexo 2:** Código de comunicación para los dispositivos transmisores.

**Anexo 3:** Código de comunicación para dispositivo receptor.

**Anexo 4:** Diseño de placas PCB para los nodos creados.



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>IDE</b>	Integrated development environment
<b>MAGAP</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
<b>SCADA</b>	Control de supervisión y adquisición de datos
<b>SAI</b>	Sistema de alimentación ininterrumpida
<b>WLAN</b>	Wireless local area network
<b>LORA</b>	Long range
<b>WSN</b>	Wireless sensor networks
<b>RTD</b>	Resistance temperatura detector
<b>UV</b>	Radiación ultravioleta
<b>PCB</b>	Printed circuit board
<b>IoT</b>	Internet of things
<b>LCD</b>	Liquid cristal display
<b>IDE</b>	Integrated development environment
<b>RTC</b>	Real Time Connection
<b>CLK</b>	Clock
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo implementar un sistema electrónico de monitoreo y control en tiempo real para el riego en cultivos de cacao. De la revisión bibliográfica de los cultivos de cacao se conoció el porcentaje de humedad. El sistema electrónico se diseñó en base a dos nodos sensor móviles e independientes los cuales realizaron el monitoreo de variables climáticas como: temperatura, humedad del suelo y radiación, así como un nodo control encargado de la apertura y cierre de las electroválvulas en base a la información entregada por los nodos sensor para el respectivo riego, este nodo opera en modo manual y automático, almacena la información en una memoria microSD, visualiza la información recibida en tiempo real por los nodos sensor mediante una pantalla LCD y requiere de una interrupción externa para el encendido de la motobomba. La comunicación entre los nodos es inalámbrica a través del uso de tecnología LoRa. La implementación se realizó en la finca “Emmanuel” ubicada en el cantón Bucay, lugar en el que se determinó en base a pruebas que el sistema electrónico cuenta con una reducción de tiempo de riego del 34% en comparación al sistema mecánico tradicional utilizado, teniendo un mayor ahorro del recurso hídrico. Se realizaron pruebas para determinar que la comunicación inalámbrica se mantiene con una distancia de transmisión y recepción de 320 metros sin pérdidas, se demostró una estabilidad en los nodos sensor lo que los hace confiables y aplicables convirtiendo al sistema electrónico en una herramienta para mantener un control tecnificado en cuanto al riego. Se recomienda ampliar los tiempos de prueba del sistema electrónico para tener mejores resultados y extender el estudio para incrementar la capacidad de recolección de datos.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <SENSOR DE TEMPERATURA>, <SENSOR DE HUMEDAD>, <SENSOR DE RADIACIÓN>, <COMUNICACIÓN INALAMBRICA>, <CONTROL DE RIEGO>, <SISTEMA ELECTRÓNICO>, <ARDUINO (SOFTWARE - HARDWARE)>.

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por  
LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, l=RIOSAMBA,  
serialNumber=0602756974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.07.09 09:41:04  
-05'00'



1338-DBRA-UTP-2021

## SUMMARY

La presente investigación tuvo como objetivo implementar un sistema electrónico de monitoreo y control en tiempo real para el riego en cultivos de cacao. De la revisión bibliográfica de los cultivos de cacao se conoció el porcentaje de humedad. The present research aimed to implement an electronic system for monitoring and real-time control for irrigation in cocoa crops. From the bibliographic review of cocoa crops, the percentage of humidity was known. The electronic system was designed based on two nodes mobile and independent sensors which carried out the monitoring of climatic variables such as: temperature, soil moisture and radiation, as well as a control node in charge of the opening and closing of the solenoid valves based on the information provided by the sensor nodes for the respective irrigation, this node operates in manual and automatic mode, stores the information in a memory microSD, displays the information received in real time by the sensor nodes through a screen LCD, and requires an external switch to start the motor pump. The communication between the nodes is wireless through the use of LoRa technology. The implementation was carried at “Emmanuel” farm located in Bucay canton, where based on evidence, it was determined that the electronic system has a 34% reduction in irrigation time compared to Traditional mechanical system used, having a greater saving of water resources. Some tests were conducted to determine that wireless communication is maintained over a distance of lossless transmission and reception of 320 meters, stability was demonstrated in sensor nodes which makes them reliable and applicable, turning the electronic system into a tool to maintain a technical control regarding irrigation. It is recommended to extend the test times of the electronic system to have better results and broaden the study to increase the data collection capacity.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TEMPERATURE SENSOR>, <HUMIDITY SENSOR>, <RADIATION SENSOR>, <WIRELESS COMMUNICATION>, <IRRIGATION CONTROL>, <ELECTRONIC SYSTEM>, <ARDUINO (SOFTWARE - HARDWARE)>



## INTRODUCCIÓN

Dentro de la agricultura un sistema de riego resulta primordial en cualquier cultivo ya sea un sistema artesanal o mecánico en donde la aplicación de agua resulta en la base fundamental para la vida, crecimiento, desarrollo y producción de una planta, por lo que optimizar este recurso es uno de los principales objetivos dentro de la agricultura. Uno de los mayores desafíos mundiales del siglo actual es el uso sostenible del agua (Ruiz y Molina, 2010, p.1), usar el recurso hídrico con un control en su aplicación evitaría desperdicios innecesarios por lo que la aplicación de sistemas de riego automatizados resulta en una opción segura para optimizar, racionalizar y controlar el uso del mismo.

La automatización y control de riego, tienen una evolución notable en la última década (Ruiz y Molina, 2010, p.1), los avances tecnológicos hacen que este tipo de procesos agrícolas sean posibles y aplicables con el uso de sistemas de información, circuitos y sensores ambientales capaces de tomar datos en tiempo real y con ellos diseñar un control dentro de este tipo de sistemas haciendo de estas acciones y tareas diarias un proceso más eficiente.

Según la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) el agua que se destina al riego agrícola esta entre el 70% de agua dulce disponible en el planeta, un estudio realizado en Ecuador en el 2019 nos indica que “las extracciones de agua totales son 9.918 Km<sup>3</sup>, de las cuales 8.076 Km<sup>3</sup> o el 81% son para uso agropecuario”(AQUASTAT FAO, 2015, pp.5-10). Por lo que optimizar el aprovechamiento de agua dentro de un riego resulta un punto de vital importancia, en Ecuador el proceso es improvisado y sin una planificación adecuada en cuanto al tiempo y cantidad de agua que se debe ocupar ya que la mayor parte de agricultores pequeños o medianos realizan el riego usando sus conocimientos tradicionales y no datos técnicos que los ayuden de guía par aun buen proceso (Nieto, et al., 2018, pp.1-2).

Por la problemática de optimizar el recurso hídrico se han implementado varios sistemas automatizados aplicados en varios países o prototipos como es el caso del trabajo de titulación realizado en Colombia sobre sistemas de bombeo de agua con paneles solares para mejorar el riego por goteo del cultivo de cacao en el fundo La Esperanza (Lamas, San Martín, 2019).

Los trabajos realizados en el Ecuador en diferentes universidades y escuelas politécnicas como la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí sobre la Sistematización de riegos por aspersión para cultivos de Cacao (Alcívar & Palma, 2013). En el 2017 en la Escuela Superior

Politécnica del Litoral se desarrolló una tesis en la que se implementó una red de sensores para el almacenamiento y riego de agua en un cultivo de cacao, este proyecto se enfocó en proveer un sistema mediante tecnologías de comunicación y procesos automatizados (Piedra & Zatzabal, 2017). Y en la misma Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se presentó una tesis en la que se desarrolló un sistema de monitoreo y control de heladas y riego para cultivos de fresa (Arcos, Carlos 2017). Sin embargo, los costos de implementación siguen siendo elevados en comparación a las ganancias de los pequeños y medianos agricultores.

Por tal razón el objetivo general del presente documento es implementar un sistema electrónico de monitoreo y control en tiempo real para el riego por aspersión en cultivos de cacao, para lo cual se plantea como objetivos específicos:

- Investigar los fundamentos básicos del riego por aspersión y los sistemas electrónicos que pueden ser implementados dentro de este tipo de riegos en cultivos de cacao.
- Determinar los requerimientos que debe cumplir el sistema electrónico de monitoreo y control.
- Realizar el diseño que permita cumplir con los requerimientos establecidos para el sistema electrónico de monitoreo y control propuesto.
- Seleccionar el software y hardware adecuado que permita implementar el diseño propuesto.
- Evaluar si el sistema electrónico de monitoreo y control implementado cumple con los requerimientos planteados.

Para lo cual la estructura general del trabajo cuenta con cuatro capítulos, el capítulo 1 dentro del marco teórico referencial se realiza una revisión bibliográfica donde se muestra algunos conceptos importantes acerca de requerimientos para cultivos de cacao, definiciones, características y tipos de sistemas de riego, automatización de sistemas, así también se menciona algunos elementos y técnicas necesarias para la implementación de este sistema electrónico, el capítulo 2 se observa la propuesta y diseño del sistema electrónico donde se describe las fases de requerimientos para el sistema electrónico, etapas aplicadas para el diseño, métodos aplicados para el sensado, selección de hardware y software, almacenamiento de datos, etapa de control y monitoreo, diseño de interfaz, el capítulo 3 muestra la validación del prototipo realizada en base a las pruebas y resultados obtenidas en base al sistema y finalmente el capítulo 4 donde se muestra la evaluación financiera con un análisis de los costos finales del dispositivo y su comparación con dispositivos ya existentes, las recomendaciones y conclusiones para las mejoras del prototipo.

## CAPÍTULO I

### 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el siguiente apartado se realiza una revisión bibliográfica de los diferentes tipos de cultivos y requerimientos dentro de la zona, así como los componentes en los sistemas de riego aplicados y parámetros necesarios para la arquitectura del sistema en el que se pretende trabajar. Este capítulo cuenta con definiciones y comparaciones de los sensores inalámbricos, actuadores y tipo de comunicación inalámbrica.

#### 1.1 Cultivos de Cacao en el Ecuador

Según (PRO-ECUADOR, 2020, pp. 1) el cacao es considerado uno de los cinco principales productos exportados por Ecuador en donde Estados Unidos es el principal comprador, constituyendo a las ganancias de este producto una base dentro de la economía nacional.

El cacao inicia su producción a partir del tercero al quinto año de sembrado, aunque este puede cambiar dependiendo el tipo o variedad, de este último dato dependerá el tamaño del fruto y por consiguiente de su semilla. El pico máximo de producción es entre el octavo y décimo año, entregando en promedio dos cosechas al año (Quintero y Díaz, 2004, p.3).

El cultivo responde de una manera favorable si los factores climáticos son los adecuados ya que requiere de ciertos parámetros a cumplir para su correcta producción como el riego, temperatura, luminosidad, altitud humedad y viento (AGROCALIDAD /INTERCALIDAD. CIA LTDA, 2015, pp. 100). La Figura 1-1, muestra una plantación cacaotera en una de las regiones de la costa ecuatoriana.



**Figura 1-1:** Plantación cacaotera.

**Fuente:** (ANECACAO, 2017, pp. 44)

Por otra parte, dentro de los cultivos de Cacao las raíces pueden llegar a alcanzar los 100-150 cm de profundidad del suelo este valor es un promedio puede llegar a ser mayor o menor dependiendo de ciertos factores agronómicos y de la edad de la planta (Dostert et al., 2011, pp.3-10). Mientras mayor sea la profundidad del suelo mayor será la extensión y cantidad de raíces de la planta por lo tanto existirá un mejor almacenamiento de agua.

Cuando una planta se encuentra en su etapa de desarrollo y de producción se indica que el 40% de raíces se encuentra en la primera cuarta parte, el 30% en una segunda cuarta parte, el 20% en la tercera cuarta parte y el 10% en lo más profundo del suelo (CONGOPE, 2016, pp.24-39). Las tres primeras cuartas partes son a las que se debe entregar agua ya que esto conlleva a la profundidad relativa a la que se debe alcanzar con un sistema de riego para una correcta producción.

### ***1.1.1 Factores que afectan los cultivos de cacao***

Una planta de cacao puede ser perjudicada desde varios factores, pero entre los más notorios o críticos están la temperatura, la lluvia y en algunos casos el viento, debido a que estos llegan a limitar las zonas para un futuro cultivo.

Según (Torres, 2012, pp.19-23), las condiciones medio ambientales son un factor primordial para la producción de un cultivo de cacao, en la mayor parte de regiones cacaoteras la cantidad de lluvia excede la evapotranspiración por lo que se requiere un mejor control con ayuda de sistemas de drenaje.

Un factor negativo dentro de la planta de cacao es la sensibilidad a la falta de agua y la ineficiencia en los sistemas de riego, ya que esto puede llegar a producir la aparición de enfermedades en los frutos y por otro lado un exceso de agua conlleva a que las raíces se pudran y la planta muera (Torres, 2012, pp.19-23).

En Ecuador las zonas cacaoteras reciben entre 800 a 1200 milímetros de agua en época de invierno por lo que la diferencia para alcanzar los niveles óptimos dentro del riego debe ser aplicada mediante sistemas de riego ya que, de lo contrario, la temperatura elevada de esta estación y la falta de agua conllevan a daños para la plantación (AGROCALIDAD /INTERCALIDAD. CIA LTDA, 2015, pp. 100).

### ***1.1.2 Requerimientos para el cultivo de Cacao***

El cacao es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para efectuar el proceso de desarrollo y reproducción, la precipitación óptima para cualquier cultivo de cacao se encuentra entre los 1600 a 2500 mm distribuidos en todo el año, se considera que las precipitaciones que

lleguen a superar los 2600 mm pueden llegar a afectar la producción de cacao, este requiere un suelo con buena profundidad y fertilidad y un sistema de riego óptimo (INIAP, 2017, pp. 1).

Según el manual realizado por la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) con la colaboración del MAGAP. Se muestra en la Tabla 1-1, los datos de los factores climáticos que intervienen en una buena práctica de cultivos de cacao. Los factores mencionados se aplican para cualquier variedad de cacao que se produce en la región litoral o costa del Ecuador (AGROCALIDAD /INTERCALIDAD. CIA LTDA, 2015, pp. 100).

**Tabla 1-1:** Factores climáticos para el cultivo de cacao.

FACTOR	VALOR	UNIDAD
Pluviosidad y riego	1600 - 2500	mm/a
Temperatura	24-26	Celsius
Luminosidad	2000	h/a
Altitud (al nivel del mar)	15-800	msnm
Humedad relativa	70% - 80%	
Viento	1 - 2	m/s

Fuente: (AGROCALIDAD /INTERCALIDAD. CIA LTDA, 2015).

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

### 1.1.2.1 Textura del suelo

Se denomina textura del suelo a “la cantidad de arena, limo y arcilla que tiene un suelo” (CONGOPE, 2016, pp.24-39). Está es una característica física que indica la capacidad del suelo a retener líquidos, la velocidad a la que se infiltra el agua y el manejo de suelo. En la Tabla 2-1 se muestra la clasificación de suelos que se encuentran en Ecuador y los tipos de textura.

**Tabla 2-1:** Tipos de texturas del suelo.

SUELO	CONTENIDO	TEXTURA	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm/h)	CARACTERÍSTICAS
ARCILLOSO	más arena	Fina	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alta retención de agua.</li> <li>▪ Baja velocidad de infiltración.</li> </ul>
ARENOSO	más arcilla	Gruesa	20-25	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baja retención de agua.</li> <li>▪ Alta velocidad de infiltración.</li> </ul>
FRANCO	Igual cantidad de arena, arcilla y franco	Media	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alta retención de agua.</li> </ul>



**Fuente:** (CONGOPE, 2014)

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

Dentro de los cultivos de cacao los suelos apropiados son los aluviales y francos los cuales sirven para contar con una mayor retención de agua para las plantas, por otra parte, los suelos arcillosos y arenosos no son recomendables debido a que no mantienen la humedad del suelo (AGROCALIDAD /INTERCALIDAD. CIA LTDA, 2015, pp. 100).

### *1.1.2.2 Humedad del suelo*

Esta característica es conocida como la cantidad de agua existente por el volumen de tierra, para un riego óptimo es necesario conocer la humedad aprovechable de agua que puede almacenar el suelo, la cual puede ser calculada en base a la Ecuación 1-1 (INNOVA/CORFO, 2012, p.2), esta ecuación representa la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez.

#### **Ecuación 1-1:** Cálculo de Humedad Aprovechable

$$Ha = \frac{CC - PMP}{100} * P \quad (1-1)$$

Donde:

**Ha**= Humedad Aprovechable (cm).

**CC**= Capacidad de campo (% vol), representa el contenido de agua retenido por el suelo.

**PMP**= Punto de marchitez permanente (% vol), Contenido de humedad del suelo cuando la fuerza de absorción de la planta y la fuerza de retención del suelo son iguales.

**P**= Profundidad del suelo (cm).

### *1.1.3 Variedades de cacao en la región litoral del Ecuador*

Dentro del continente americano existe un total de 40% de hectáreas sembradas de cultivos de cacao, dentro de las cuales el 24% le pertenece a Ecuador (INIAP y ESPOL, 2019: p.104). Efectivamente, estas plantaciones cacaoteras se realizan en base a sistemas tradicionales y semitecnificados para un mayor control en la producción (Acebo, 2016, pp.1-2).

Actualmente en el Ecuador existe 2 variedades de cacao que contemplan la mayor producción las cuales pertenecen a 5 tipos de “Sabor Arriba” también conocido como cacao fino de aroma reconocido a nivel internacional y la variedad “CCN-51” la cual se caracteriza por su gran capacidad productiva (ANECACAO, 2017, pp. 44).

## **1.2 Realidad de la zona**

Dentro de la zona litoral o costa existe variedad de cultivos de Cacao, cuando se habla de una zona más específica se refiere al recinto San Pedro cantón Bucay provincia de Guayas en donde existe gran cantidad de plantaciones de cacao, manejándose en esta locación el 80% del área cultivada de tipo CCN51 y el 20% maneja una variedad de cacao de tipo CCN95 datos obtenidos gracias a FAS (Fundación Ambiente y Sociedad).

A nivel de riego, dentro de la zona se trabaja con riegos por aspersión debido a que los cultivos manejan grandes extensiones de terreno y requieren un riego permanente, por lo que se ve la necesidad de estudiar este tipo de sistemas de riego.

Debido a que en la zona no se cuenta con un servicio de energía eléctrica por cada usuario el uso de bombas eléctricas es casi nulo. El acceder a un servicio de energía eléctrica resulta una inversión excesiva, por tal motivo se pretende adaptar la presente investigación al sistema de riego por aspersión, que trabaja con una motobomba centrífuga alimentada con combustible y accionada manualmente por la persona encargada, con el que se cuenta en la finca “Emmanuel” ubicada en la zona de estudio la cual consta de seis cuadras de cultivo de cacao, con una dimensión de 84m de ancho por 800m de largo.

La motobomba con la que se trabaja en la propiedad mencionada no forma parte del diseño del sistema electrónico que se pretende implementar, debido a que la misma se encuentra en perfecto estado de funcionamiento, instalada y acondicionada para la extensión de terreno que se encuentra cultivado, por lo que se ha visto conveniente el especificar los parámetros de funcionamiento, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1:**Parámetros de funcionamiento de la motobomba.

PARÁMETROS	VALORES
Marca	CHANGFA
Capacidad	100 m <sup>3</sup> /h
Velocidad	1450 rpm
Potencia	18.5 KW
Eficiencia	71%
Presión	50 psi

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

Por otra parte, el sistema de riego al que se pretende adaptar el sistema electrónico cuenta con un sistema de tuberías de dos pulgadas conectados a postes de emisión en donde el agua es distribuida

con la ayuda de aspersores de tipo cañón los cuales cubren un diámetro de 50m de terreno, generando de esta forma un riego por aspersión vía aérea.

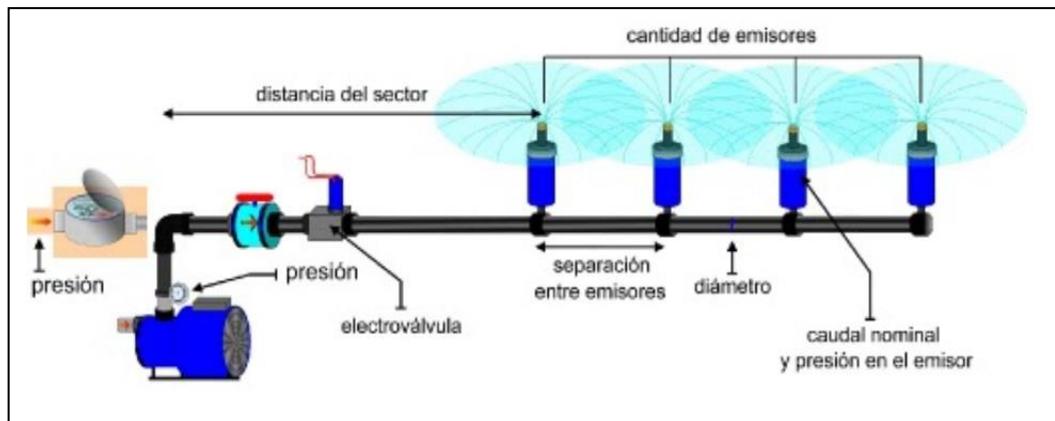
### 1.3 Riego por aspersión

Conocido como riego presurizado de baja frecuencia se encarga de distribuir el agua en forma de una fina lluvia de manera uniforme y artificial dentro del cultivo con la ayuda de aspersores los cuales expulsan el agua a presión con ayuda de un sistema de bombeo, el objetivo fundamental de este sistema es hacer que el agua se infiltre en el mismo lugar en donde cae evitando la erosión del suelo (López, 2016, p.71).

Dentro de los sistemas de riego por aspersión se cuenta con distintas variaciones en cuanto a su implementación, existen los sistemas estacionarios y los sistemas fijos, pero cualquier sistema aplicable se compone de los siguientes elementos:

- **Fuente de Presión:** Este factor primordial dentro del riego por aspersión se genera del accionamiento de una bomba o motobomba la cual puede ser eléctrica o funcionar con algún combustible, esta bomba puede tomar el agua de un pozo, estanque o río más accesible. Para trabajar con esta fuente es importante conocer el caudal y la presión.
- **Red de conducción:** Esta red maneja un sistema de tuberías primarias y secundarias, las cuales se encargan del transporte del agua desde la fuente hasta los aspersores dentro de la plantación.
- **Cabezal de riego:** También conocido como cabezal de control este punto del sistema de riego trabaja como un filtro antes de la distribución de agua.
- **Línea de distribución:** Este punto de distribución cuenta con una red de tuberías secundarias las cuales reparten el agua desde la tubería principal hasta el punto de aspersión donde el agua es expulsada, en esta red es importante que el agua llegue con la misma presión para mantener una uniformidad en el riego.
- **Dispositivos de emisión o aspersores:** Estos dispositivos son los encargados de esparcir el agua en forma de una fina lluvia, en la agricultura los más usados son los aspersores giratorios ya que cubren el terreno en forma circular y mejoran el riego (Huaylla, 2019, pp. 26).

En la figura 2-1 se muestra un sistema de riego por aspersión.



**Figura 2-1:** Sistema de riego por aspersión

Fuente: (Mallorca, 2011)

#### 1.4 Componentes para la automatización de sistemas de riego por aspersión

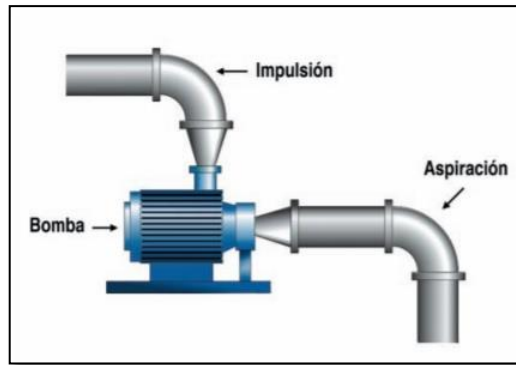
La modernización es aplicable inclusive dentro de los sistemas de riego en donde hablar de un sistema automatizado se refiere a trabajar con un control en la suministración de agua en un cultivo logrando de esta forma el uso eficiente de agua, todo esto se logra mediante dispositivos como bombas de presión, electroválvulas que manejan el control en el cierre y apertura, estas a su vez dependen de transductores como sensores de nivel o sensores climáticos que recolectan datos de una zona específica (Canqueri, 2019, p.20).

Para la automatización dentro de un sistema de riego por aspersión se cuenta con elementos mecánicos, electromecánicos y electrónicos como:

##### 1.4.1 Equipo de bombeo

Uno de los componentes principales dentro del riego es la bomba, en la agricultura la más utilizada es la de tipo centrífuga, esta extrae agua de un determinado lugar la cual ingresa por la cámara central, gira en dirección al eje del rotor y sale expulsada en forma perpendicular con un aumento de presión por la fuerza centrífuga (Yepes, 2016, p. 1).

Debido al apartado en donde se menciona la realidad de la zona el equipo de bombeo para el sistema de riego se restringe al uso de la motobomba centrífuga marca CHANGFA. La Figura 3-1 muestra un equipo de bombeo donde se observa la zona de aspiración y de impulsión.

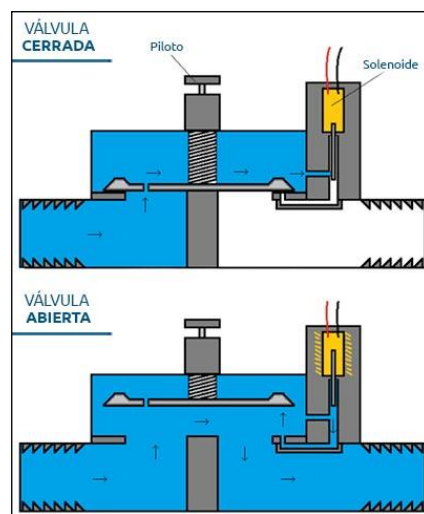


**Figura 3-1:** Equipo de bombeo.

Fuente: (Fernández, 2010)

#### 1.4.2 *Electroválvulas*

También conocida como válvula solenoide es un dispositivo electromecánico que mediante una señal o pulso eléctrico puede dar acción a su apertura o cierre total, cabe mencionar que éste no tiene control sobre el flujo del líquido que circula por él. Esta se compone de una válvula y una bobina solenoide (electroimán), esta última opera con un muelle diseñado para retornar la válvula a una posición neutra cuando esta desactivada (Canqueri, 2019, p.20). La Figura 4-1 muestra los dos tipos de funcionamiento de las electroválvulas.



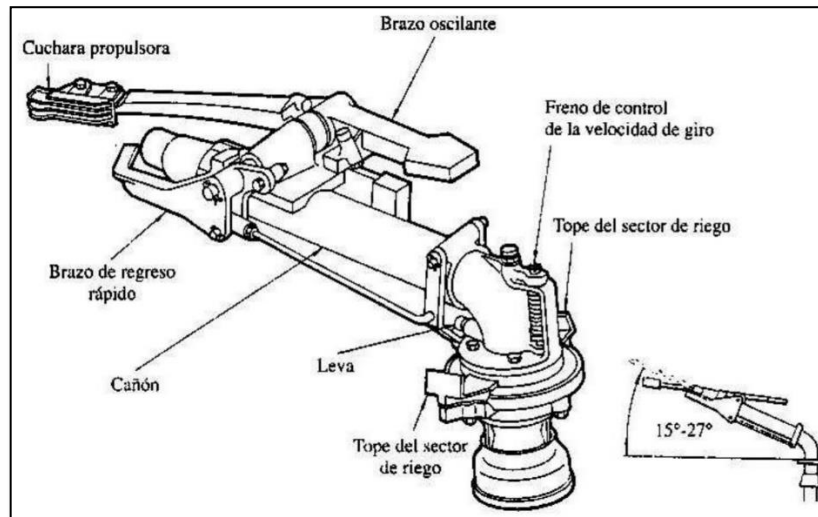
**Figura 4-1:** Tipos de funcionamiento de electroválvulas.

Fuente: (NOVAGRIC, 2017)

#### 1.4.3 *Aspersores*

Conocidos como emisores son los encargados de expulsar el agua a presión sobre un terreno o parcela en forma de una fina lluvia, la presión es la encargada de hacer que el aspersor gire cubriendo una zona circular. Uno de los aspectos negativos de los aspersores es que la distribución de agua no es uniforme por lo que se requiere contar con un aspersor lo más próximo posible para cubrir las zonas que no alcanza a regar el primer aspersor (Salazar y Apugllón, 2019: pp.14-16).

Debido al apartado en donde se menciona la realidad de la zona el aspersor para el sistema de riego se restringe al uso de aspersor tipo cañón para una tubería de dos pulgadas que trabaja a una presión de 50 psi. La Figura 5-1 muestra un aspersor tipo cañón y el nombre de las partes que lo componen.



**Figura 5-1:** Aspersor tipo cañón.

Fuente: (López, 2016).

## 1.5 Red de sensores inalámbrica

Conocida como WSN (Wireless Sensor Network), es un conjunto de nodos interconectados de forma inalámbrica para dar solución a un determinado problema. Se componen de pequeños dispositivos electrónicos de baja potencia los cuales toman datos del entorno con la ayuda de sensores, los que a su vez transmiten la información recolectada a un nodo de control (Díaz, 2017, pp.16-17).

Dentro de la agricultura aplicar este tipo de redes es de gran utilidad en cuanto al monitoreo dentro áreas hostiles donde se desea reducir en gran medida el personal y tener un mayor control dentro de cultivos con obtención de datos a un tiempo real (Ortiz, 2020, pp.5-13).

### 1.5.1 Elementos de una red de sensores inalámbrica

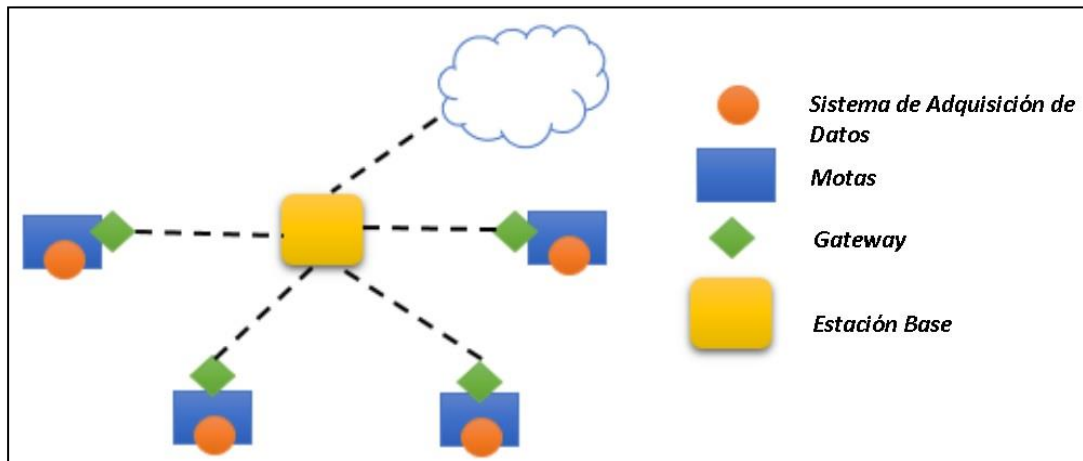
Dentro de WSN se encuentra varios elementos para su correcto funcionamiento en este apartado se menciona tres de estos elementos:

**Nodos sensoriales:** también llamados motas debido a que son pequeños y se puede colocar en cualquier zona, son los encargados de recabar datos y retransmitirlos a un nodo de control, normalmente requieren una fuente de energía independiente (Ortiz, 2020, pp.5-13).

**Nodos coordinadores:** son los encargados de recibir y almacenar la información de cada nodo sensorial de una red (Ortiz, 2020, pp.5-13).

**Gateway:** encargado de la comunicación entre una red sensores y una TCP/IP (Paredes, 2017, pp.18-23).

En la Figura 6-1 se observa la estructura de una red de sensores inalámbrica con topología tipo estrella.



**Figura 6-1:** Red de sensores inalámbrica con topología tipo estrella.

Fuente: (Paredes, 2017).

### 1.5.2 Topologías

Entre las topologías más utilizadas para una red WSN se encuentra un nodo central y varios nodos esclavos dependiendo de la red aplicada, a continuación, se pueden detallar algunas de las topologías más usadas

**Topología estrella:** los nodos envían la información al Gateway o nodo central el cual se encuentra conectado al servidor y en este la información será procesada es importante conocer que los nodos finales solo actúan como transmisores. Esta es una de las topologías más simples de implementar (Valencia et al., 2019, pp. 7-8).

**Topología Mech:** también llamada topología tipo malla trabaja con tres tipos de nodos finales, enrutadores y Gateway, debido a su estructura robusta su tiempo de transmisión de datos puede incrementarse y existe repetitividad al enviar los datos (Valencia et al., 2019, pp. 7-8).

**Topología árbol:** esta topología es una combinación de las dos anteriores es simple y de bajo consumo (Paredes, 2017, pp.18-23).

### 1.5.3 Sensores

Son dispositivos útiles en la determinación del momento oportuno de riego debido a su capacidad de recolección de datos directamente sobre el terreno en tiempo real, en función al análisis de los cultivos se ve en la necesidad de incluir cuatro tipos de sensores que a continuación se detallan.

### 1.5.3.1 Sensor de Humedad

Este tipo de sensores basan su funcionamiento en la conductividad del suelo, ya que, miden la resistencia al paso de corriente eléctrica entre dos electrodos que son colocados a una profundidad específica del suelo determinando así la humedad a la que se encuentra el terreno. Esto se conoce con una relación inversamente proporcional entre la cantidad de agua y la resistencia, es decir a mayor humedad menor resistencia (Martin y Munoz, 2017: pp.1-5).

En la Tabla 4-1 se encuentra una comparativa de las diferentes familias de sensores de humedad aplicables.

**Tabla 4-1:** Tabla comparativa de sensores de Humedad del suelo.

TIPO DE SENSORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Sonda de Neutrones</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Mediciones exactas.</li><li>Mide la humedad a varias profundidades.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Puede existir peligros de radiación.</li><li>Necesita calibración</li><li>Alto costo.</li><li>Conocimiento previo.</li></ul>
<b>Tensiómetros</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Mide la humedad a varias profundidades.</li><li>Medidas continuas.</li><li>Mide la tensión del suelo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Pierden contacto en suelos secos.</li><li>No trabajan en suelos arcilloso.</li><li>Precio considerable.</li></ul>
<b>Sensores Capacitivos FDR</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Bajo costo.</li><li>Funcionan en dominio de frecuencia.</li><li>Alta precisión.</li><li>Alto rango de operación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Sensibles a las burbujas de aire.</li><li>Difícil instalación si el suelo se encuentra arcilloso comprimido.</li></ul>
<b>Gravimetría</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Preciso.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Requiere de mano de obra.</li><li>Es destructivo.</li></ul>

Fuente: (Betancourth, 2016) y (Martin y Munoz, 2017) y (Enciso et al., 2016).

Realizado por: Sánchez, K. 2021

Según las ventajas y desventajas analizadas de cada familia de sensores, se determinó que el uso de sensores de tipo capacitivo son la mejor opción para el sistema electrónico que se desea implementar, ya que su precisión y rango de operación son altos y su costo es relativamente bajo.

### 1.5.3.2 Sensor de Temperatura

Es un dispositivo que mide la temperatura detectando variaciones físicas ya sea en el aire o en agua, estas variaciones se convierten en señales eléctricas que luego son procesadas por un sistema electrónico.

Existen varios tipos de sensores entre los más utilizados se tiene RTD, Termopares y Termistores. Si se habla de RTD estos dispositivos miden la temperatura dependiendo la resistencia a la temperatura del material del que estén fabricados, son usados principalmente dentro de la industria.



Los termopares trabajan con una diferencia de tensión entre la junta fría y la junta caliente su rango depende de los materiales de los que estén compuestos, por último, los termistores trabajan con electrodos internos que miden los impulsos eléctricos (SRC, 2019, pp. 1). En la Tabla 5-1 se realiza una comparación entre las familias de sensores de temperatura existentes en el mercado, para su futura selección en el sistema electrónico.

**Tabla 5-1:** Tabla comparativa de sensores de temperatura.

TIPOS DE SENSORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Termistor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensible al cambio de temperatura.</li> <li>▪ Medición precisa y estable.</li> <li>▪ Bajo costo</li> <li>▪ Cubre pequeños rangos.</li> <li>▪ Respuesta rápida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No cubre amplios rangos.</li> <li>▪ No lineal.</li> <li>▪ Susceptible a ruido</li> </ul>
<b>Termopar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo costo.</li> <li>▪ Rango amplio.</li> <li>▪ Tamaño pequeño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calibración afectada por el frío.</li> <li>▪ Requiere de fuente de alimentación.</li> <li>▪ Frágil.</li> </ul>
<b>RTD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es preciso.</li> <li>▪ Medición más repetible.</li> <li>▪ Estable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costo elevado.</li> <li>▪ Mientras más pequeña sea menor capacidad de disipación de calor.</li> </ul>

Fuente: (Vergara, 2019) y (ARIAN, 2015) y (Copacondori, 2018)

Realizado por: Sánchez, K. 2021

Según la comparación de ventajas y desventajas revisadas en la Tabla 5-1 anterior se determina en base a la medición precisa y estable que el tipo de sensor de temperatura a elegir es el Termistor debido a que la temperatura ser sensada no requiere de un rango amplio.

#### 1.5.3.3 Sensor de rayos ultravioleta

Se encarga de detectar las señales o rayos UV y los transforma en señales eléctricas que se procesan en una placa electrónica, dando como respuesta un valor de voltaje o corriente, estos sensores constan de un detector, filtro, difusor y una placa PCB.

Este sensor es fabricado principalmente de silicio, esta composición es la que permite tener una respuesta espectral y recoge la luz de todas las direcciones posibles y la transmite de forma uniforme (Talla, 2019, p.119). Dentro de la agricultura estos sensores son utilizados para tener datos precisos en cuanto a la radiación producida por el sol en los cultivos y la afectación que da la exposición en exceso a la misma.

La Figura 7-1 muestra los diferentes niveles de radiación solar, el índice de radiación UV se mantiene en valores desde 0 hasta valores mayores a 11 determinando así los valores menores a 2 como un índice de radiación baja, valores de 3 a 5 como un índice moderado y no peligroso, valores con un peligro mayormente considerable son entre 6 y 7, por otra parte, los valores

peligrosos empiezan a partir de 8 en adelante donde las medidas a tomar son de mayor importancia.

CATEGORIA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUUV
<b>BAJA</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>MODERADA</b>	<b>3 A 5</b>
<b>ALTA</b>	<b>6 A 7</b>
<b>MUY ALTA</b>	<b>8 A 10</b>
<b>EXTREMADAMENTE ALTA</b>	<b>11+</b>

**Figura 7-1:** Intervalos de niveles a exposición de rayos UV.

**Fuente:** (Guamá y Vargas, 2020).

#### 1.5.3.4 Sensor de Nivel

Su principal función es la de medir el nivel de un líquido en un pozo o tanque desde la posición donde se encuentre instalado, existe variedad de sensores de nivel desde mecánicos como las boyas que encontramos en los tanques de agua de una casa, hasta los más actualizados que trabajan como cualquier otro sensor electrónico con su placa, entregando señales analógicas o digitales según sea el sensor.

Este sensor cuenta con una clasificación general como detectores de nivel limite y medición en continuo. Dentro de los sensores de punto tenemos sensores de tipo capacitivo los cuales pueden ser colocados en un punto máximo o mínimo de un reservorio o tanque, este funciona dando una señal en el momento donde el nivel de fluido llega a un punto deseado.

Por otra parte, los sensores continuos entregan mediciones en tiempo real del nivel en el que se encuentra el fluido es decir la altura a la cual se encuentra con ayuda de indicadores visuales, dichos dispositivos son utilizados dentro de la industria y sistemas SCADA (Chulde, 2017, p.128).

En la Tabla 6-1 se realiza una comparación entre diferentes tipos de sensor de nivel.

**Tabla 6-1:** Tabla comparativa de sensores de nivel.

TIPOS DE SENSORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Capacitivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No tiene distancia de bloqueo.</li> <li>▪ Realiza una medición continua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menor precisión.</li> <li>▪ Precio considerable.</li> <li>▪ No mide nivel total.</li> </ul>
<b>Ultrasónicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo costo.</li> <li>▪ Gran precisión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Velocidad de propagación de la onda variable.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No requiere contacto con el fluido.</li> <li>▪ Fácil manejo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Medición desfavorable cuando hay gran fluctuación de líquido.</li> <li>▪ No recomendable para fuentes de agua natural.</li> </ul>
<b>Radar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No tiene contacto con el fluido.</li> <li>▪ Mide si la superficie cuenta con distintas sustancias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costo elevado.</li> <li>▪ Baja constante dieléctrica.</li> </ul>
<b>Flotador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo costo.</li> <li>▪ Activa o desactiva el ingreso del fluido.</li> <li>▪ Útil en reservorios naturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se encuentran en constante movimiento.</li> <li>▪ Se instalan en la superficie del fluido.</li> </ul>

**Fuente:** (Chulde., 2017) y (Quinchia y Herreño, 2017).

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

Según la comparación de ventajas y desventajas revisadas en la Tabla 6-1 anterior se determina en base a la medición precisa, estable y al bajo costo que el tipo de sensor de nivel a emplear es el flotador.

### 1.6 Tecnologías de comunicación inalámbrica

En la actualidad resulta difícil el no encontrar dispositivos que trabajen de forma inalámbrica estas tecnologías son un medio de conexión entre diferentes dispositivos electrónicos, fueron creadas para transferir datos sin necesidad de medios cableados con un menor costo de instalación y una mayor movilidad (Mero et al., 2019: pp. 2-9).

**Bluetooth:** Este protocolo de comunicación se basa en el estándar IEEE 802.15, posee una transmisión completa pero su rango de cobertura es muy pequeño, sin embargo una de las ventajas que tiene este protocolo es que se considera de bajo costo y puede ser configurado con adquisición de datos de forma Maestro-esclavo (Vergara, 2019, p.43).

**Tecnología WI-FI:** Son parte de las redes WLAN las cuales trabajan con el estándar IEEE 802.11, esta tecnología permite a los usuarios crear conexiones inalámbricas dentro del rango de cobertura de esta red la cual llega solamente hasta los 100 metros, tiene gran capacidad de transferencia de datos y varios dispositivos trabajan actualmente con esta tecnología a nivel mundial (Ortiz, 2020, pp.5-13).

**ZigBee:** Esta tecnología está basada en el estándar IEEE 802.15.4 trabaja en la misma frecuencia que otras redes inalámbricas, es la más indicada para operar redes de mayor densidad y una de sus mayores ventajas es el reducido consumo de potencia, siendo de gran utilidad en monitoreos, recopilación de datos y automatización de sistemas (Vela, 2016, pp. 1-2).

**LoRa:** Basada en el protocolo de red de tecnología LoRa tiene como objetivo brindar conectividad a varios dispositivos cubriendo amplias zonas de cobertura y minimizando consumo

de energía en baterías con un dispositivo de mínimo tamaño, esta tecnología es de gran utilidad cuando se necesita aplicaciones de transferencia de pequeñas cantidades de datos pocas veces al día y cubriendo grandes extensiones de terreno, aplicables en zonas donde no existe WI-FI y de gran extensión (Hernández, 2020, pp.14-16).

### 1.6.1 Tabla comparativa de tecnologías de comunicación inalámbrica

En este apartado se pretende hacer una comparativa entre las diferentes tecnologías de comunicación ya mencionadas anteriormente con la finalidad de definir una de estas tecnologías para ser aplicadas en el sistema electrónico, en la Tabla 7-1 encontramos las principales características de cada una de estas tecnologías.

**Tabla 7-1:** Tabla comparativa de tecnologías de comunicación inalámbricas.

CARACTERÍSTICAS	Bluetooth	WI-FI	LoRa	ZigBee
Estándares	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11	LoRa-Alliance	IEEE 802.15.4
Velocidad	24 Mbps	54Mbps	50 Kbps	250 Kbps
Latencia	hasta 10 s	hasta 3 s	indeterminado	30 ms
Rango de funcionamiento (m)	10-100	50-100	5000 – 20000	100+
Consumo de potencia en transmisión	40 mA	400 mA	<50 mA	30 mA
Vida útil de batería	1 semana	1 semana	15 años	años
Aplicación principal	WPAN	WLAN	LoRaWAN	Control y monitorización

Fuente: (Paredes, 2017) y (Vela, 2016) y (Vergara, 2019) y (Hernández, 2020).

Realizado por: Sánchez, K. 2021

Del análisis de la tabla comparativa se pudo evidenciar que la mejor tecnología a ser aplicada en base a la zona en donde el trabajo va a ser implementado y teniendo presente la realidad de la zona y requerimientos, la tecnología seleccionada es LoRa debido a su alcance y mayor vida útil de batería.

### 1.7 Tarjetas de desarrollo

Son placas electrónicas útiles en la creación de aplicaciones según las características que posean, estas son compatibles con diferentes dispositivos y sensores, cada tarjeta cuenta con su propio lenguaje de programación. Estas tarjetas incluyen entradas tanto digitales como analógicas útiles en control de procesos y desarrollo de proyectos (Paredes, 2017, pp.18-23).

**Raspberry Pi:** Es un ordenador de bajo costo, se compone de un CPU, una placa base sobre la que se encuentra un procesador, memoria RAM y un procesador gráfico. Este dispositivo trabaja

con sistemas operativos basados en Linux, entradas y salidas analógicas actualmente es utilizado en el área estudiantil (González y Carrillo, 2019, pp.14-16).

**Arduino:** Esta tarjeta de desarrollo que realiza la función de microcontrolador incluye placas, módulos, elementos que se pueden conectar para asignar funciones adicionales y crear varias aplicaciones. La plaqueta se programa con un software libre en donde se leen las entradas y las convierten en salidas las cuales se asignan a variables que realizan una acción determinada (ARDUINO, 2018, pp. 1).

**Libelium Waspote:** La arquitectura de hardware Waspote ha sido diseñada para trabajar con un consumo extremadamente bajo. Los interruptores digitales permiten encender y apagar cualquiera de las interfaces de los sensores, así como los módulos de radio. Tres modos de suspensión diferentes hacen de Waspote la plataforma de IoT programable con cualquier software libre aunque viene siendo una tarjeta muy poco manejable dentro del mercado (Libelium, 2018, pp. 1).

### 1.7.1 Tabla comparativa de tarjetas de desarrollo

Luego de revisar las diferentes tarjetas de desarrollo en los apartados anteriores, se procede a realizar la Tabla 8-1 con las características de cada una de las tarjetas para seleccionar la más accesible para el sistema electrónico que se pretende implementar.

**Tabla 8-1:** Tabla comparativa de tarjetas de desarrollo.

CARACTERÍSTICAS	Raspberry PI	Arduino MEGA	Libelium Waspote
Voltaje de entrada	5 V	7 -12 V	5 – 7V
Voltaje de operación	3.3 – 5V	5 V	0.5 – 3.8 V
Nº de Entradas Digitales	8	54	8
Nº de Entradas Analógicas	6	16	7
RAM	512 MB	256 KB	8 KB
Velocidad del reloj	700 MHz	16 MHz	16 MHz
Precio aproximado	\$ 50	\$25	\$180

Fuente: (Paredes, 2017)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

Del análisis de tabla comparativa se pudo evidenciar que la mejor tarjeta de desarrollo a ser aplicada en base a la capacidad de almacenamiento y sus entradas analógicas es la tarjeta Arduino MEGA.

## CAPÍTULO II

### 2 PROPUESTA Y DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

El presente capítulo describe la metodología a seguir para la implementación de un sistema electrónico de monitoreo y control en tiempo real para el riego en cultivos de cacao. Se determina el orden de las etapas a seguir, la cual empieza por la descripción de requerimientos a considerar para la implementación dentro de la zona escogida, la concepción del sistema, su arquitectura, diseño y configuración del sistema electrónico. La Figura 1-2 muestra el orden de las etapas de la metodología a seguir para el desarrollo del sistema electrónico.



**Figura 1-2:** Etapas de la metodología para el desarrollo del sistema electrónico.

Realizado por: Sánchez, K. 2021

#### 2.1 Requerimientos del sistema electrónico

Los requerimientos con los que el sistema electrónico debe contar se establecen en función al estudio realizado en el capítulo anterior y en las necesidades del propietario de la finca “Emmanuel” donde se desea realizar la implementación, para lo cual se presentan los siguientes requerimientos:

- Implementar el sistema electrónico en lugar del sistema manual de riego por aspersión existente, haciendo uso de los elementos con los que se cuenta, los cuales son una

motobomba centrífuga, aspersores de tipo cañón que cubren 50 m de diámetro, sistema de tubería subterránea de 2 pulgadas.

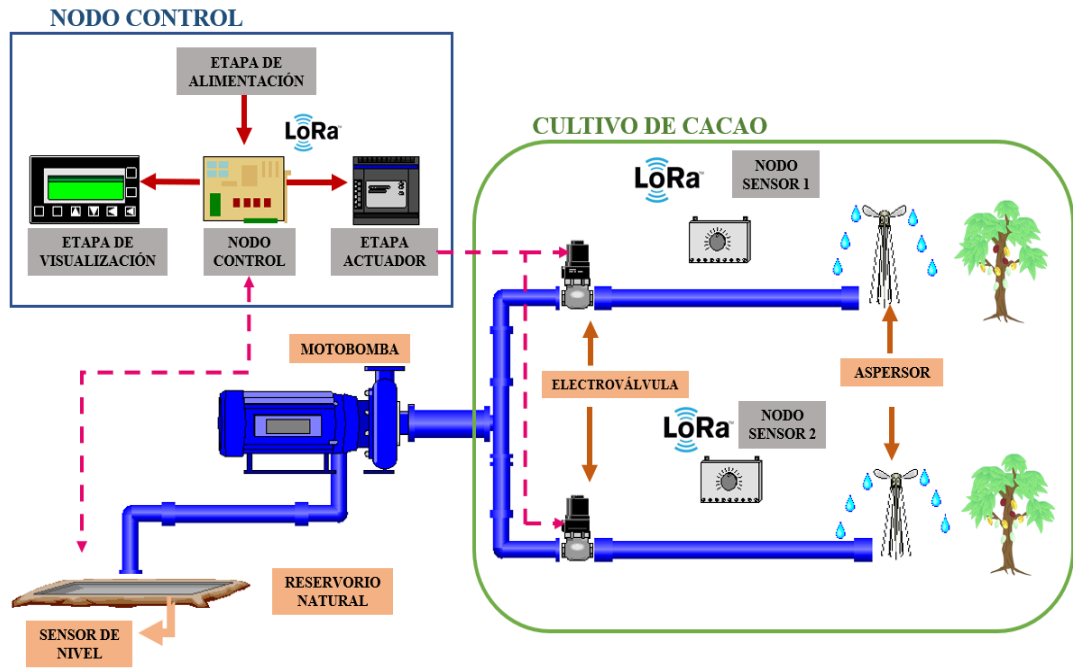
- Adquirir información relacionada a la humedad relativa de suelo, temperatura del ambiente, radiación y nivel de agua mediante el uso de sensores y almacenarlos en una memoria microSD.
- Monitorear el cultivo de cacao en un área de 100 m empleando dos nodos móviles e independientes con comunicación inalámbrica con capacidad de supervisar el área de cultivo.
- Controlar la apertura y cierre de las electroválvulas en base a los requerimientos de riego.
- Visualizar la información en tiempo real y envío de mensajes de alerta, así como las variables de: temperatura, radiación y humedad del suelo en una pantalla LCD.
- Implementar un sistema de bajo costo y consumo de energía.

## **2.2 Concepción general del sistema electrónico**

Para tener una idea clara del diseño del sistema electrónico se muestra la Figura 2-2, en donde se observan los componentes existentes dentro de sistema de riego con los que se pretende realizar la implementación, así como los nodos que forman el sistema electrónico como son: el nodo de control y los nodos sensor.

Los nodos sensor son creados para medir variables de temperatura del ambiente, humedad del suelo y radiación con la ayuda de sensores comerciales y de bajo costo, el objetivo de estos nodos es monitorear los valores medidos y compararlos con los requerimientos agronómicos mencionados en el apartado del capítulo 1, manteniendo así el cultivo dentro de sus valores óptimos para un correcto mantenimiento de la plantación, estos nodos son móviles e independientes capaces de transmitir los datos obtenidos en tiempo real con la ayuda de comunicación inalámbrica del tipo LoRa.

El nodo control se compone de las etapas de visualización, actuador, alimentación y comunicación. Es el encargado de recibir la información tomada por los nodos móviles compararla con los requerimientos establecidos y realizar el control de la activación de las electroválvulas con el objetivo de mantener los niveles de humedad del suelo en sus valores óptimos.



**Figura 2-2:** Concepción general del sistema.

Realizado por: Sánchez, K. 2021

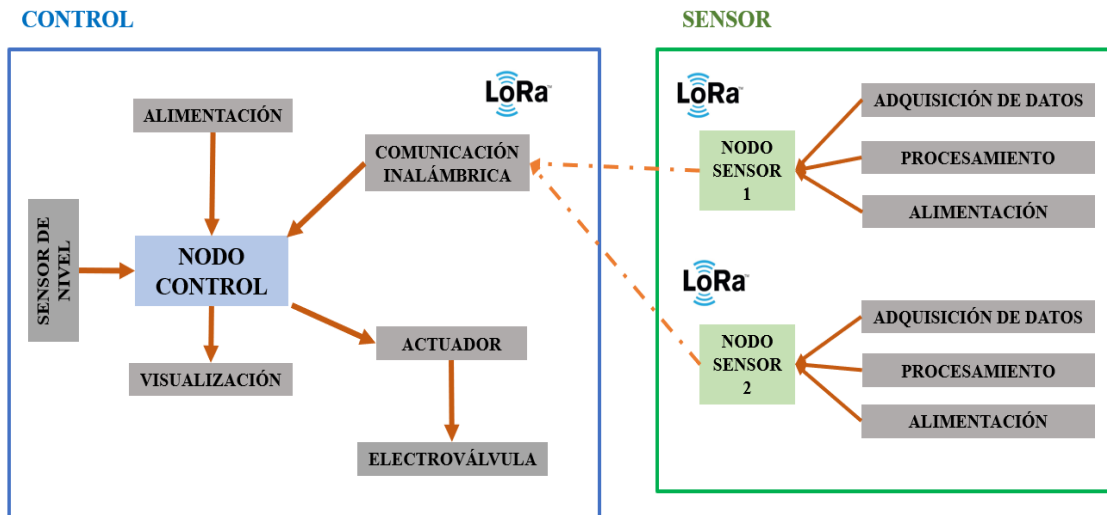
El presente trabajo selecciona la tecnología LoRa debido a que los nodos móviles tienen como objetivo cubrir la comunicación de grandes extensiones de terreno, con un bajo consumo de energía y envío de datos en tiempo real para lograr un monitoreo constante mediante la visualización de datos en un dispositivo LCD.

LoRa es la capa física del protocolo LoRaWAN, trabaja con modulaciones en radiofrecuencia y señales robustas ante interferencias y ruidos, trabajando en frecuencias poco convencionales por debajo de 1GHz en bandas ISM según la región en la que se encuentre como: Europa con una banda de 863-870 MHz, América con 902-928 MHz y Asia con 433 MHz (Ortiz, 2020.).

### 2.3 Diseño de la arquitectura del sistema electrónico

Siguiendo con la metodología, luego de realizar el esquema de la concepción del sistema el Gráfico 1-2 muestra la arquitectura del sistema electrónico en donde se evidencia la presencia de dos nodos sensor y el nodo control.





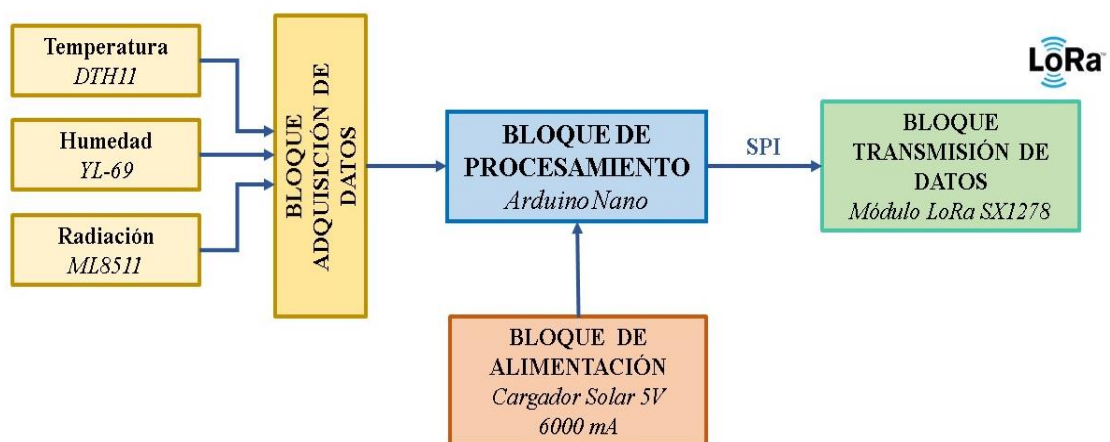
**Gráfico 1-2:** Arquitectura del sistema electrónico.

Realizado por: Sánchez, K. 2021

### 2.3.1 Nodos sensor

Los nodos sensor son colocados en lugares estratégicos dentro del área de cultivo de cacao siendo independientes y móviles. El Gráfico 2-2 muestra el diagrama de bloques de los nodos sensor los cuales contienen el bloque de adquisición de datos, encargados de adquirir mediciones en tiempo real de los tres sensores: temperatura, radiación y humedad del suelo. Para así garantizar el monitoreo de variables climáticas.

Estos datos llegan al bloque de procesamiento por medio de la tarjeta de desarrollo Arduino a través de las entradas digitales y analógicas hacia el nodo de control mediante comunicación inalámbrica Lora. El bloque de alimentación mediante un cargador solar suministra la energía para los nodos sensor.



**Gráfico 2-2:** Diagrama de bloques del nodo sensor 1 y 2.

Realizado por: Sánchez, K. 2021

### **2.3.2 *Nodo control***

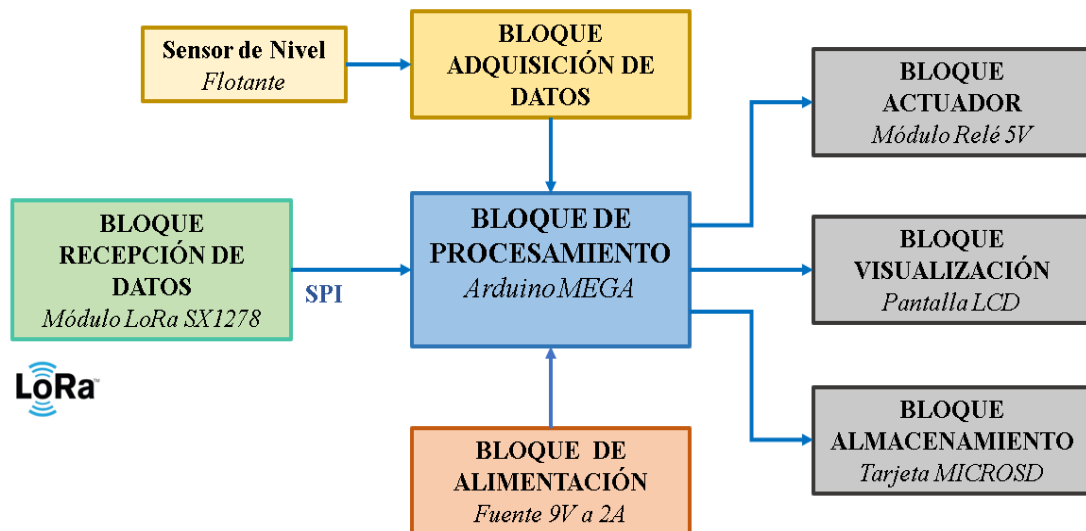
Este nodo es el encargado de realizar todos los procesos de control en el sistema electrónico, así como el control de la apertura y cierre de electroválvulas usadas para el riego por aspersión. El Gráfico 3-2 muestra el diagrama de bloques del nodo control, donde se detalla cada uno de los componentes a utilizar, el nodo, no solo realiza la acción de control sino también es el encargado de recibir los datos de los dos nodos sensor.

Dicho nodo se compone de 7 bloques, mismos que representan cada una de las funciones a realizar para lograr cumplir con los objetivos de la implementación, estos son: bloque de recepción de datos encargado de recibir la información enviada de forma inalámbrica con tecnología LoRa desde los nodos sensor, bloque de adquisición de datos encargado de sensar el nivel de agua mediante el uso de un sensor del tipo flotante para tener conocimiento de si el agua se encuentra en un nivel adecuado para abastecer el riego, este sensor es colocado mediante una pequeña adaptación de tubería en el reservorio natural y conectado mediante cable al nodo control.

El bloque de visualización se compone de una pantalla LCD en donde se monitorea la información obtenida por los sensores: temperatura, humedad del suelo y radiación de cada nodo, cuenta con una visualización de fecha y hora y mensajes indicadores del nivel de agua existente en el reservorio natural. El bloque de procesamiento se encarga de manejar la información obtenida de la tarjeta de desarrollo Arduino para el control de los valores de los parámetros utilizados en sistema electrónico y enviar al bloque actuador.

El bloque actuador cuenta con una parte de potencia el cual está formada por 2 relés las cuales generan un pulso de activación para activar o desactivar las electroválvulas colocadas en los postes de riego para aspersión, en base a los requerimientos de los sensores de humedad del suelo y radiación, el bloque de almacenamiento de datos permite guardar la información en una tarjeta de memoria microSD de las variables sensadas incluyendo la fecha y hora.

Finalmente, el bloque de alimentación del sistema se encarga de suministrar energía a la tarjeta de desarrollo mediante una fuente de alimentación de 9V a 2 A, misma fuente de donde se obtiene una pequeña etapa de regulación de voltaje de 5V para la alimentación de las interrupciones externas, esta etapa de alimentación se refiere a un transformador de 12V con el cual se suministra energía para el correcto funcionamiento de las electroválvulas que forman parte del nodo control.



**Gráfico 3-2:** Diagrama de bloques del nodo control.

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

## 2.4 Selección de Hardware para el sistema electrónico

En el siguiente apartado se detallan los elementos hardware que se utilizan en la implementación del sistema electrónico con las principales características técnicas de cada elemento. Para conocer un poco más ver el Anexo 1 donde se encuentran las hojas técnicas de los elementos que componen el sistema.

### 2.4.1 Arduino MEGA2560

La tarjeta de desarrollo se basa en un microcontrolador del tipo ATmega2560 como se muestra en la Figura 3-2, la cual cuenta con 54 pines digitales entrada/salida y 16 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, en cuanto a la alimentación este Arduino cuenta con un terminal VIN para el suministro de voltaje con una fuente externa de 6 a 20V con un rango de uso recomendable de 7 a 12V para evitar que el regulador se sobrecaliente y cause daño en la placa (Electrónica/Embajadores, 2016, pp. 99-102).



**Figura 3-2:** Arduino MEGA 2560.

Realizado por: Sánchez, K. 2021

La Tabla 1-2 muestra características técnicas de la tarjeta de desarrollo, las que deberán ser tomadas en cuenta para el diseño del sistema electrónico.

**Tabla 1-2:** Características técnicas del Arduino MEGA 2560.

CARACTERÍSTICAS	
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Entradas / Salidas digitales	54
Entradas analógicas	16
Corriente CC del pin E/S	40 mA
Corriente CC en pin 3.3V	50mA
Memoria	256Kb
Potencia de consumo	93mA

Fuente: (Electrónica/Embajadores, 2016).

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.2 *Arduino NANO*

La Figura 4-2 muestra una pequeña tarjeta de desarrollo que comparte el mismo microcontrolador que posee el Arduino UNO con una arquitectura de tipo AVR, trabaja con un oscilador de 16MHz puede ser acoplado a un protoboard debido a su tamaño más compacto, este Arduino puede ser alimentado y programado a través de cable USB Mini-B y de una fuente de alimentación externa. Cuenta con una comunicación serial UART TTL de 5V, que está disponible en los terminales digitales 0 (RX) y 1 (TX) (ARDUINO, 2020b, p.1).



**Figura 4-2:** Arduino NANO

Realizado por: Sánchez, K. 2021

En la Tabla 2-2 se muestra algunas de las características técnicas más relevantes para la implementación del sistema electrónico.

**Tabla 2-2:** Características técnicas del Arduino NANO

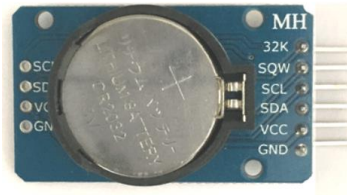
CARACTERÍSTICAS	
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Entradas / Salidas digitales	22
Entradas analógicas	8
Salidas PWM	6
Corriente CC del terminal E/S	40 mA
Memoria	32Kb
Potencia de consumo	19mA

Fuente: (ARDUINO 2020)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

### 2.4.3 RTC DS3231

Este dispositivo es un reloj de tiempo real muy preciso y de bajo costo permite observar segundos, minutos, horas, así como información de año, mes y día, este consta de un oscilador de cristal como se muestra en la Figura 5-2, además de una entrada de batería que mantiene una indicación de la hora precisa cuando se interrumpe la alimentación principal del dispositivo. Se alimenta con un voltaje de 3.3V, mantiene una corriente de 200 uA y trabaja a una temperatura de 0 a 70 °C (Maxim Integrated, 2015, pp. 1).



**Figura 5-2:** RTC DS3231

Realizado por: Sánchez, K. 2021

En la Tabla 3-2 se observa los terminales con los que cuenta el dispositivo.

**Tabla 3-2:** Descripción de terminales de RTC DS3231.

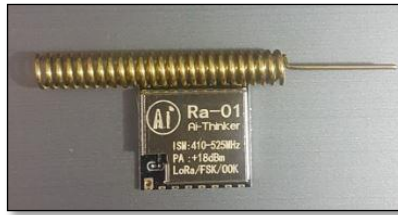
TERMINAL	DESCRIPCIÓN
VCC	Alimentación 5V
GND	Tierra o común
SCL	Señal de reloj del bus I2C
SDA	Señal de datos del bus I2C
SQW	Señal de reloj

Fuente: (Geek Factory, 2019,)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

### 2.4.4 Lora Transceiver SX1278

Este dispositivo de comunicación cuenta con un módem de largo alcance LoRa el cual proporciona comunicación de espectro extendido de rango ultralargo y alta inmunidad a interferencias. La Figura 6-2 muestra una antena que incluye el módulo para una mayor cobertura, puede transmitir y recibir información de un punto a otro, por otra parte, este dispositivo minimiza el consumo de corriente alargando la vida útil de las baterías, así como también permite la conexión de varios dispositivos para crear una red de tipo estrella (Semtech, 2018, pp. 1). La Tabla 4-2 muestra características técnicas del dispositivo Lora SX1278.



**Figura 6-2:** Transceiver SX1278

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

Es importante mencionar que la tecnología LoRa posee una sola puerta de enlace o Gateway capaz de cubrir largas distancias que dependen del entorno y la ubicación en el cual sea utilizado. El tamaño de carga útil dentro de una trama es de máximo 255 bytes siendo útil en el monitoreo de dispositivos o sensores. Además, esta tecnología permite el tráfico de datos de tres formas (Ortiz, 2020,):

- Simplex: Comunicación unidireccional, donde solo un dispositivo transmite y los demás escuchan.
- Half dúplex: Se puede transmitir y recibir datos, pero no en forma simultánea.
- Full dúplex: Se puede transmitir y recibir datos de forma simultánea (Ortiz, 2020,).

**Tabla 4-2:** Características técnicas de Lora Transceiver SX1278

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>Voltaje de operación</b>	1.8 - 3.7 V
<b>Rango de Frecuencias</b>	137 – 525 MHz
<b>Banda Ancha</b>	7.8 – 500 kHz
<b>Tasa de bits programable</b>	300 kbps
<b>Corriente en modo suspensión</b>	0.2 uA
<b>Corriente de recepción</b>	12 mA
<b>Corriente de Transmisión</b>	29 mA
<b>Potencia de salida</b>	13 dBm

**Fuente:** (Semtech, 2018)

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.4.1 Descripción de los terminales del dispositivo Transceiver SX1278

Este módulo cuenta con distintos terminales que sirven para la alimentación y configuración del dispositivo LoRa con el que se pretende trabajar, en la Tabla 5-2 se presenta un detalle de cada terminal con una breve descripción.

**Tabla 5-2:** Descripción de los terminales del dispositivo Transceiver SX1278

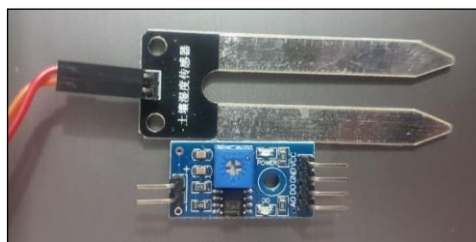
TERMINAL	DESCRIPCIÓN
GND	Tierra
NSS	Selección de entrada de Chip SPI
MOSI	Entrada de datos SPI
MISO	Salida de datos SPI
SCK	Entrada de reloj SPI
DIO5	E/S digital para configuración de software
DIO4	E/S digital para configuración de software
ANT	Antena
RESET	Terminal de reset
DIO0	E/S digital para configuración de software
DIO1	E/S digital para configuración de software
DIO2	E/S digital para configuración de software
DIO3	E/S digital para configuración de software

Fuente: (SEMTECH, 2015.)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.5 Sensor de Humedad YL-69

Este sensor transmite corriente eléctrica por medio de sus dos terminales actuando como una resistencia variable como se muestra en la Figura 7-2, este dispositivo es colocado a cierta distancia de la tierra y la cantidad de corriente depende de la resistencia generada en el suelo, se conoce que cuanto más agua exista en el suelo la conductividad entre terminales es mayor (Ossa, 2017, pp. 6).



**Figura 7-2:** Sensor YL-69

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

La Tabla 6-2 muestra algunas de las características técnicas del sensor.

**Tabla 6-2:** Características técnicas del sensor YL-69

CARACTERÍSTICAS	
Voltaje de entrada	3.3 - 5 VDC
Voltaje de salida	0 – 4.2 V
Corriente	35 mA
Salida Analógica	1
Salida Digital	1

Fuente: (Lozano, 2018)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.6 Sensor de Temperatura DTH11

El sensor digital de humedad y temperatura por su composición interna forma parte de la familia de sensores de temperatura del tipo termistor, su tamaño es relativamente pequeño como se puede observar en la Figura 8-2, es de bajo consumo y larga distancia de transmisión de aproximadamente 20 m (Naylamp Mechatronics, 2018, pp. 1). En la Tabla 7-2 se puede observar las características técnicas de este sensor.



**Figura 8-2:** Sensor de Temperatura DTH11

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

**Tabla 7-2:** Características técnicas del sensor DTH11

CARACTERÍSTICAS	
Voltaje de operación	3 -5 V
Rango de medición de temperatura	0 – 50 °C
Precisión de medición de temperatura	± 2 °C
Tiempo de sensado	2 s
Corriente de trabajo min	0.5 mA
Corriente de trabajo max	2.5 mA

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2018)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.



#### 2.4.7 Sensor ultravioleta UV ML8511

El Módulo ML8511 es utilizado para la adquisición de intensidad UV en interiores o exteriores debido a su tamaño es adecuado para dispositivos portátiles como se muestra en la Figura 9-2, este sensor se encuentra equipado con un amplificador interno que convierte la fotocorriente en voltaje gracias a la recepción de rayos UV emitiendo una señal analógica, dicha señal se la obtiene a través de la salida analógica entregando un valor en  $\text{mW}/\text{cm}^2$  (Moviltronics, 2019, pp. 1).



**Figura 9-2:** Sensor UVML8511

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

La Tabla 8-2 muestra las características técnicas del sensor UVML8511.

**Tabla 8-2:** Características técnicas del sensor ultravioleta UV ML8511

CARACTERÍSTICAS	
Voltaje de operación	5 V
Longitud de onda	280 – 390 nm
Salida de corriente	5 mA
Potencia de disipación	30 mW
Salida analógica	1

**Fuente:** (Moviltronics, 2019)

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.8 Sensor de nivel de tipo flotador

En la Figura 10-2 se puede observar el sensor de nivel utilizado en la implementación, este dispositivo cuenta con un sencillo funcionamiento de apertura o cierre cuando existe movimiento en el nivel de un fluido su funcionamiento es comúnmente comparado con un switch, es recomendable tener en cuenta la orientación al momento de la implementación (UNIT Electronics, 2021, pp. 1). En la Tabla 9-2 se muestran algunas características técnicas del Sensor de nivel.



**Figura 10-2:** Sensor de nivel de tipo flotador

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

**Tabla 9-2:** Características técnicas del sensor de nivel de tipo flotador.

CARACTERÍSTICAS	
<b>Voltaje de operación</b>	0-100 VDC
<b>Corriente de operación</b>	0.5 A
<b>Resistencia de contacto</b>	100 Mohm
<b>Ubicación</b>	Vertical
<b>Potencia máxima</b>	10 W

Fuente: (UNIT Electronics, 2021)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.9 Relé

La Figura 11-2 muestra un dispositivo relay o relé, este interruptor es utilizado en el control de dispositivos de alto voltaje y amperaje enviando una pequeña señal eléctrica de 5 VDC, para su accionamiento se requiere de un driver el cual puede ser un transistor (Ferretrónica, 2019, pp. 1).



**Figura 11-2:** Relé 5VDC

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

En la Tabla 10-2 se puede observar características técnicas de este relé.

**Tabla 10-2:** Características técnicas de Relé 5VDC

CARACTERÍSTICAS	
<b>Voltaje de operación bobina</b>	5 VDC
<b>Corriente de la bobina</b>	90 mA
<b>Voltaje máximo de carga</b>	250 VAC / 30 VDC
<b>Corriente máxima de carga</b>	10A
<b>Tiempo de acción</b>	5-10 ms

Fuente: (Ferretrónica, 2019)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.10 Electroválvula Hunter 2''

La Figura 12-2 muestra una electroválvula de dos pulgadas, esta permite realizar el proceso de activación o desactivación del flujo de agua según los requerimientos dentro de un sistema de riego, este dispositivo actuador está conectado directamente en la tubería del sistema (HUNTER, 2019, p.1). La Tabla 11-2 presenta algunas de las características técnicas de esta electroválvula.



**Figura 12-2:** Electroválvula Hunter 2''

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

**Tabla 11-2:** Características técnicas de la Electroválvula 2''

CARACTERÍSTICAS	
Voltaje de operación solenoide	24 VCA
Corriente de arranque solenoide	350 mA
Diámetro de entrada	2''
Caudal	0.03 – 45 m <sup>3</sup> /h
Presión	1.5 – 15 bares 150 – 1500 kPa

Fuente: (HUNTER, 2019)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.11 Pantalla LCD 16x4

Es el dispositivo electrónico seleccionado para utilizarlo en el sistema electrónico, en la etapa de visualización del nodo control la Figura 13-2 muestra un ejemplar del dispositivo hardware, para su conexión se necesita de 11 terminales digitales, cuenta con 4 filas y 16 columnas (Electrónica/Embajadores, 2016, pp. 99-102).



**Figura 13-2:** LCD 16x4

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

### 2.4.12 Cargador Solar

Conocido también como fuente autónoma, es un dispositivo que utiliza la energía solar con la ayuda de paneles fotovoltaicos que se cargan con la ayuda del sol, son dispositivos prácticos y portables que se componen de un pequeño panel solar, una batería de litio interna y un convertidor DC/DC mantiene regulado el voltaje de salida y de la batería (Guzmán, 2018, pp. 1). El dispositivo seleccionado para la alimentación del nodo sensor del sistema electrónico se observa en la Figura 14-2 el cual es un cargador de 6000 mA/h con una salida de voltaje de 5V, consta de dos salidas USB de 1A y 2A.



**Figura 14-2:** Cargador Solar

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

#### 2.4.12.1 Selección de cargador solar en base a la corriente requerida

Para realizar una correcta selección en cuanto al cargador solar a utilizar se muestra en la Tabla 12-2 el consumo máximo de corriente que demanda cada dispositivo que compone el nodo sensor, para evitar así daños de sobre corriente en los dispositivos.

**Tabla 12-2:** Consumo de Corriente de los elementos del nodo sensor.

Elemento	Corriente Nominal (mA)	Corriente máxima (mA)
Arduino Nano	40	40
DHT11	2.5	2.9
YL-69	35	40
ML8511	5	5.7
Modulo Lora SX1278	29	32.1
<b>TOTAL</b>	<b>111.5</b>	<b>120.7</b>

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

## 2.5 Esquemas de conexión electrónica

En este apartado se encuentran los esquemas de cada nodo que compone el sistema electrónico implementado, con una breve descripción de la conexión realizada entre dispositivos.

### 2.5.1 Esquema de conexión nodos sensor

Se puede apreciar en la Figura 15-2 el esquema de conexiones para los nodos sensor, para estos nodos se selecciona como microcontrolador a la tarjeta de desarrollo Arduino Nano, la alimentación de todo el nodo se realiza mediante un cargador solar de 6000 mAh con un voltaje de 5V, conectado directamente a los terminales VIN y GND respectivamente, este realiza la función de procesamiento de datos obtenidos por los sensores climáticos.

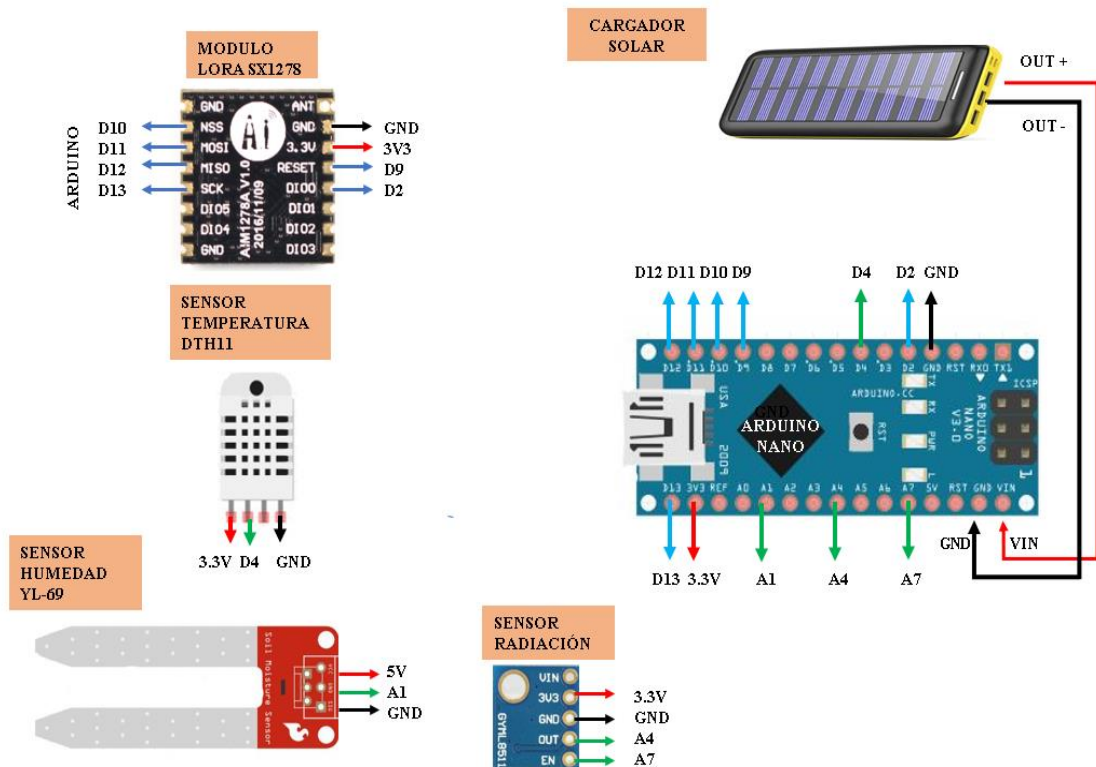


Figura 15-2: Esquema de conexiones de los nodos sensor

Realizado por: Sánchez, K. 2021

A continuación, tenemos una descripción de cada dispositivo.

- El sensor de humedad y temperatura DTH11 Arduino cuenta con una única salida digital conectada al terminal D4 del microcontrolador, con una alimentación de 3.3V y GND obtenidas de la tarjeta de desarrollo.
- El sensor de humedad YL – 69 se encuentra alimentado con un voltaje de 3.3V y GND, los cuales se obtienen de la tarjeta de desarrollo, este cuenta con una salida de datos de tipo analógico el cual se conecta a la tarjeta Arduino en el terminal A1.
- El sensor de radiación UV ML8511 posee dos salidas analógicas conectadas a los terminales A4 y A7 del microcontrolador, la última salida corresponde al terminal EN del sensor y un voltaje de alimentación de 3.3V y GND.

Las conexiones realizadas por el dispositivo LoRa Ra-01 al Arduino Nano se presentan en la Tabla 13-2, en donde los terminales NSS, MISO y MOSI son los encargados del envío y recepción de datos en el módulo LoRa con un tiempo de reloj el cual es entregado por el terminal SCK.

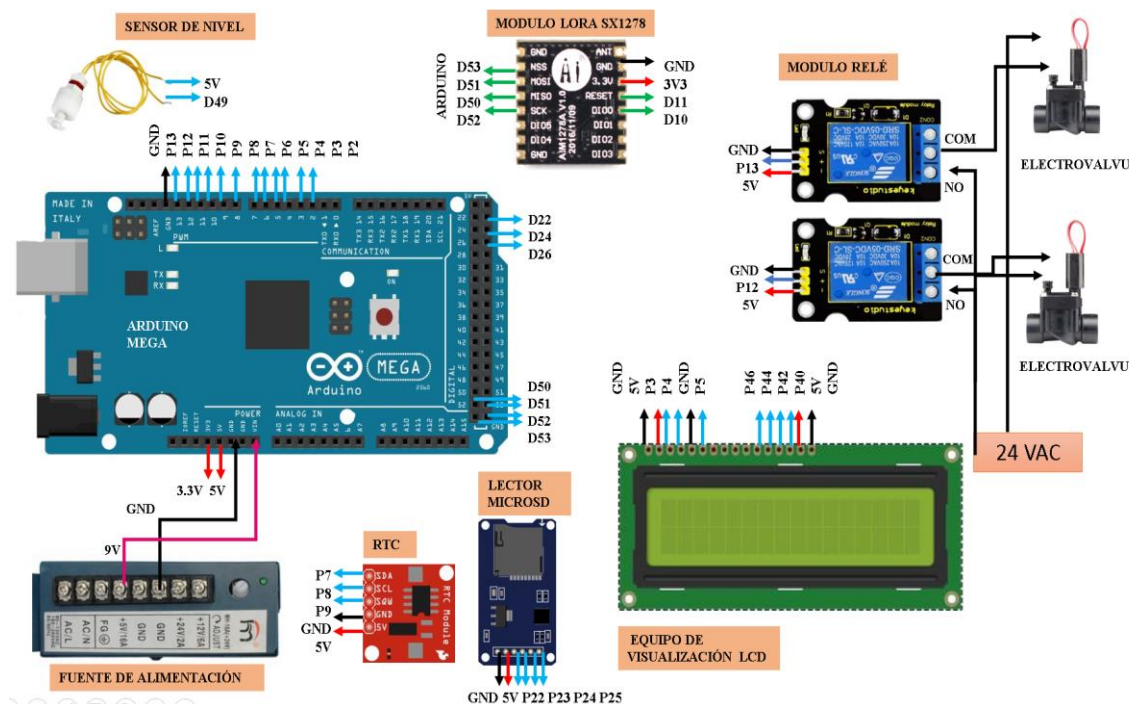
**Tabla 13-2:** Conexión modulo Lora SX1278 y Arduino Nano.

LORA SX1278	ARDUINO NANO
GND	GND
3V3	3V3
NSS	D10
MOSI	D11
MISO	D12
DIO0	D2
SCK	D13
RESET	D9

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

### 2.5.2 Esquema de conexión nodo control

La Figura 16-2 muestra el esquema de conexión para el nodo control, en donde se detalla las conexiones realizadas entre los diferentes dispositivos. Para este nodo se selecciona la tarjeta de desarrollo Arduino MEGA 2560, la cual se encuentra alimentada a través del puerto externo para conexión por una fuente de 9V a 2A conectada directamente a la red. Este nodo realiza la función de procesar los datos obtenidos a través de la comunicación inalámbrica con los nodos sensor y realizar la acción de control de los actuadores mediante una etapa de potencia la cual trabaja con módulos relé mismos que conectan cada una de las electroválvulas a los terminales COM y NO realizando el control de encendido y apagado las electroválvulas mediante un pulso.



**Figura 16-2:** Esquema de conexiones del nodo control

Realizado por: Sánchez, K. 2021

La tarjeta de desarrollo cuenta con las siguientes conexiones:

- El módulo LoRa SX1278 en el nodo control trabaja como receptor y su conexión con el Arduino MEGA se puede observar en la Tabla 14-2, la comunicación que se maneja con este dispositivo es del tipo SPI.

**Tabla 14-2:** Conexión modulo Lora SX1278 y Arduino MEGA.

LORA SX1278	ARDUINO MEGA
GND	GND
3V3	3V3
NSS	D53
MOSI	D51
MISO	D50
DIO0	D10
SCK	D52
RESET	D11

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

- El sensor de nivel flotante se encuentra alimentado con 5V obtenidos de la regulación realizada con la ayuda del integrado LM7805 y con una entrada digital para la lectura del sensor conectada al terminal D49.

- El dispositivo RTC conecta sus terminales CLK, DAT y RST a las entradas digitales D7, D8 y D9 de la tarjeta de desarrollo y su alimentación es de 5V y GND tomadas de la regulación de voltaje.
- La pantalla LCD conecta sus terminales VDD y VSS a los terminales de 5V y GND del microcontrolador, de igual forma los terminales V0, RS, E, RW, D4, D5, D6, D7 están conectados a los terminales digitales del procesador en el siguiente orden D3, D4, GND, D5, D46, D44, D42, D40. Los terminales A y K requieren de alimentación de 5V y GND.
- Los módulos relé se encuentran alimentados con un voltaje de entrada de 5V y GND, las señales IN1 y IN2 se asignan a los terminales D13 y D12 de la tarjeta de desarrollo. En las salidas de los módulos mencionados se conectan las electroválvulas las cuales son alimentadas con 24Vac obtenidos del transformador, el contacto eléctrico normalmente abierto NO se conecta a un terminal de la electroválvula, mientras el segundo terminal se encuentra cerrando el circuito con el contacto común del módulo relé.

## **2.6 Diseño de software para el sistema electrónico**

En esta sección se detalla los requerimientos software de cada uno de los nodos que componen el sistema electrónico a implementarse, así como los algoritmos y líneas de programación del sistema.

### ***2.6.1 Requerimientos software para los nodos sensor***

- Realizar mediciones de los sensores en tiempo real y procesar los datos en el microcontrolador.
- Enviar la información obtenida por los sensores de humedad, temperatura y radicación al nodo de control a través de comunicación inalámbrica LoRa al nodo control.

### ***2.6.2 Requerimientos software para el nodo control***

- Recibir la información enviada por los nodos sensor mediante la comunicación inalámbrica LoRa.
- Conocer el estado digital en el que se encuentra el sensor de nivel colocado en el reservorio al nodo de control.
- Visualizar la información receptada por los nodos sensor en la pantalla LCD.
- Realizar el control en la tarjeta de desarrollo Arduino MEGA en base a la información recibida y a los requerimientos para el cultivo de cacao.
- Realizar la activación y desactivación de las electroválvulas con la ayuda de los relés controlados desde el Arduino MEGA.
- Llegar un registro de datos obtenidos por los dos nodos y almacenarlos en una tarjeta microSD.



## **2.7 Software de Desarrollo**

En el siguiente apartado se tiene una breve descripción de las herramientas de software utilizadas en el sistema electrónico para el proceso de comunicación, procesamiento y control de cada nodo que conforma el sistema.

### ***2.7.1 Software de Desarrollo IDE Arduino***

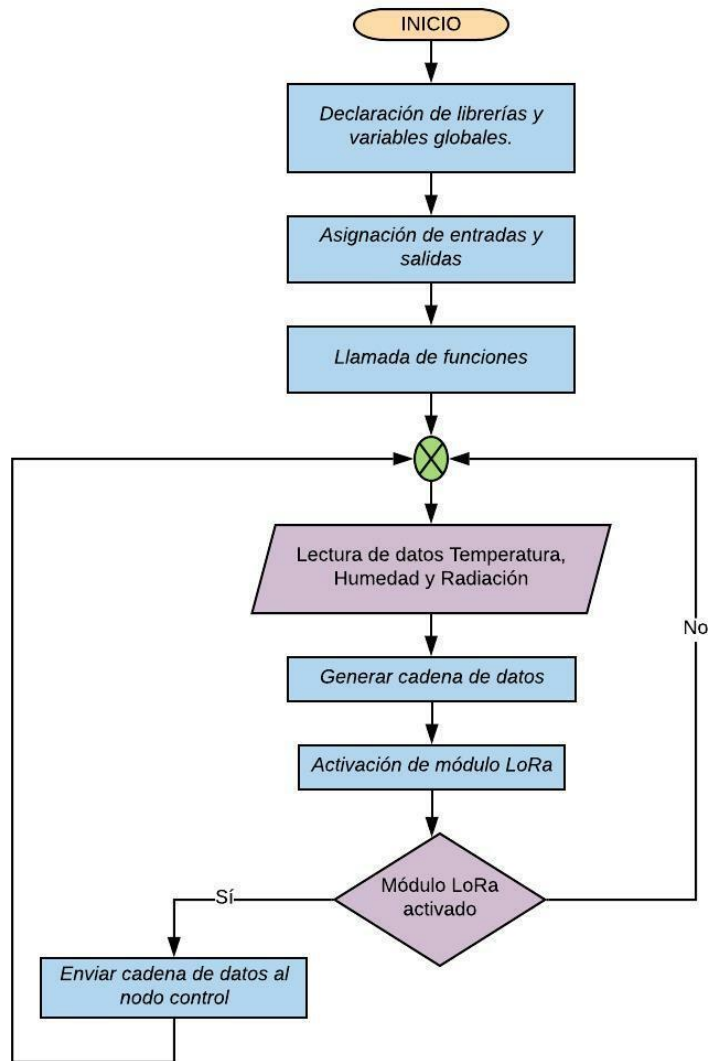
IDE Arduino 1.8.13 es la versión del software con la que se trabaja en el presente sistema electrónico, este software es una plataforma de creación electrónica en código abierto lo cual lo hace sencillo y fácil de utilizar es considerado como un conjunto de herramientas que permiten escribir, editar y grabar cualquier programa creado en una placa física programable con la ayuda de librerías, además de un monitoreo del proceso a ejecutarse. Este IDE se basa en el lenguaje de programación Wiring quien a su vez se fundamenta en el lenguaje de programación C y C++, permitiendo así trabajar con una variedad de microcontroladores (ARDUINO, 2020, pp. 1).

### ***2.7.2 Software de Desarrollo CorelDRAW 2020***

Es una herramienta de diseño gráfico y vectorial para creación de modelados sólidos, utiliza herramientas matemáticas para la creación de sus diseños es muy utilizada por empresas de ingeniería, fabricación y construcción, con herramientas de precisión dedicadas para crear ilustraciones detalladas de productos y piezas, diagramas, esquemas y otros elementos visuales es de fácil manejo y comprensión, tomando en cuenta las cotas y relaciones de la creación de cada pieza (CorelDRAW, 2021, pp. 1).

### ***2.7.3 Diagrama de flujo nodos sensor***

En la Gráfico 4-2 se observa el diagrama de flujo utilizado en la programación de los nodos sensor, se puede apreciar el proceso llevado a cabo para la lectura de datos de los sensores climáticos, así como el envío de datos al nodo control.



**Gráfico 4-2:** Diagrama de Flujo nodos sensor

Realizado por: Sánchez, K. 2021

Con la ayuda del software de desarrollo IDE Arduino, la tarjeta de desarrollo Arduino Nano se realiza la programación tomando en cuenta los siguientes pasos:

- Haciendo uso del gestor de librerías de Arduino se incluyeron todas las librerías que hacen posible la habilitación de dispositivos y el uso de sus respectivas funciones como es el caso del sensor de temperatura y los módulos Lora, así como los diferentes protocolos de comunicación para la correcta ejecución del programa. La Tabla 15-2 detalla las librerías para el correcto funcionamiento del sistema electrónico.

**Tabla 15-2:** Librerías para la programación en Nodos sensor.

DISPOSITIVO	LIBRERÍA	DESCRIPCIÓN
DTH11	<DTH.h>	Librería para sensores de temperatura y humedad DTH11, DTH22, entre otros.
Módulo LoRa Ra - 01 SX1278	<LoRa.h>	Permite la recepción y envío de datos. Librería Sandeep Mistry versión 0.5.0.
	<SPI.h>	Permite comunicarse con dispositivos que utilizan un bus de forma serial.
-	<LowPower.h>	Permite utilizar las características de bajo consumo de SAMD21.

Fuente: (ARDUINO, 2021.)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

- Declaración de variables globales y configuración de entradas y salidas digitales y analógicas dependiendo de la necesidad del proceso que se va a realizar.
- Llamado de funciones realizadas en base a los procesos requeridos por el nodo sensor para mantener el código de programación en un orden y secuencia, las funciones creadas son para procesos repetitivos como la obtención de datos de los sensores climáticos, mismas que, se detallan en la siguiente Tabla 16-2.

**Tabla 16-2:** Funciones internas para Nodos sensor.

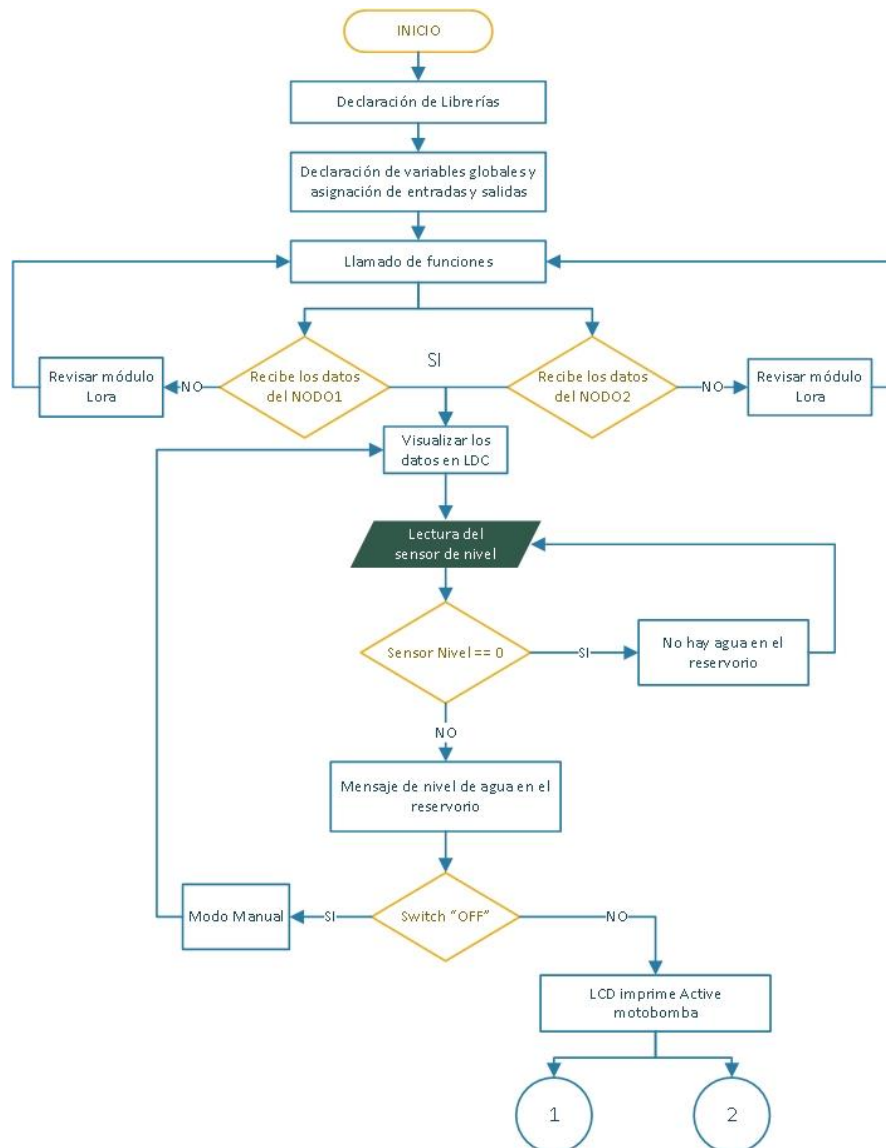
FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>Fun_Temperatura()</b>	Asigna una variable para la lectura de datos del sensor DTH11 y comprueba su funcionamiento.
<b>Fun_Humedad()</b>	Lee los datos obtenidos a través del sensor YL-69.
<b>Fun_Radiacion()</b>	Obtiene los datos de radiación de forma analógica y los convierte en niveles de intensidad UV.
<b>Lora_Transmisor()</b>	Transmite al nodo control una trama de datos generada por las lecturas de los tres sensores climáticos.

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

- La lectura de sensores se realiza de forma permanente con un tiempo de 20 minutos entre lectura, esto se ejecuta con las funciones **Fun\_Temperatura()**, **Fun\_Humedad()** y **Fun\_Radiacion()**.
- Se procede a transmitir la trama de datos obtenida gracias a la lectura de sensores con la ayuda de la función **Lora\_Transmisor()**.
- Una vez realizada la transmisión con la ayuda de la función **Lora\_Receptor()** se recibe un mensaje en el Arduino confirmando que los datos llegaron de forma correcta al nodo control.

### 2.7.4 Diagrama de flujo nodo control

En el Gráfico 5-2 se puede observar el diagrama de flujo de la trama de datos recibida en el nodo control por los dos nodos sensor, el sensado de nivel de agua con el sensor de nivel y el accionamiento del sistema tanto en modo manual como en modo automático cambio que se realiza de forma externa a través de un selector, este proceso se realiza en la tarjeta de desarrollo Arduino MEGA.



**Gráfico 5-2:** Diagrama de flujo para inicialización del nodo control.

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

Con la ayuda del software de desarrollo IDE Arduino, en la tarjeta de desarrollo Arduino MEGA se realiza la programación de ciertas líneas de código tomando en cuenta los siguientes pasos:

- Haciendo uso del gestor de librerías de Arduino se incluyen todas las librerías que hacen posible la habilitación de dispositivos, así como los diferentes protocolos de comunicación para la correcta ejecución del programa en la Tabla 17-2 se detallan las librerías utilizadas.

**Tabla 17-2:** Librerías para la programación en Nodo control.

DISPOSITIVO	LIBRERÍA	DESCRIPCIÓN
RTC	<RTC.h>	Librería de reloj en tiempo real para programar eventos.
Módulo LoRa Ra – 01 SX1278	<LoRa.h>	Permite la recepción y envío de datos. Librería Sandeep Mistry versión 0.5.0.
	<SPI.h>	Permite comunicarse con dispositivos que utilizan un bus de forma serial.
-	<LowPower.h>	Permite utilizar las características de bajo consumo de SAMD21.
LCD	<LiquidCrystal.h>	Permite la utilización de la pantalla LCD y el uso de sus funciones.

Fuente: (ARDUINO, 2021)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

- Llamado de funciones realizadas en base a los procesos requeridos por el nodo control para mantener el código de programación en un orden y secuencia, mismas que, se detallan en la Tabla 18-2.

**Tabla 18-2:** Funciones internas para Nodos sensor.

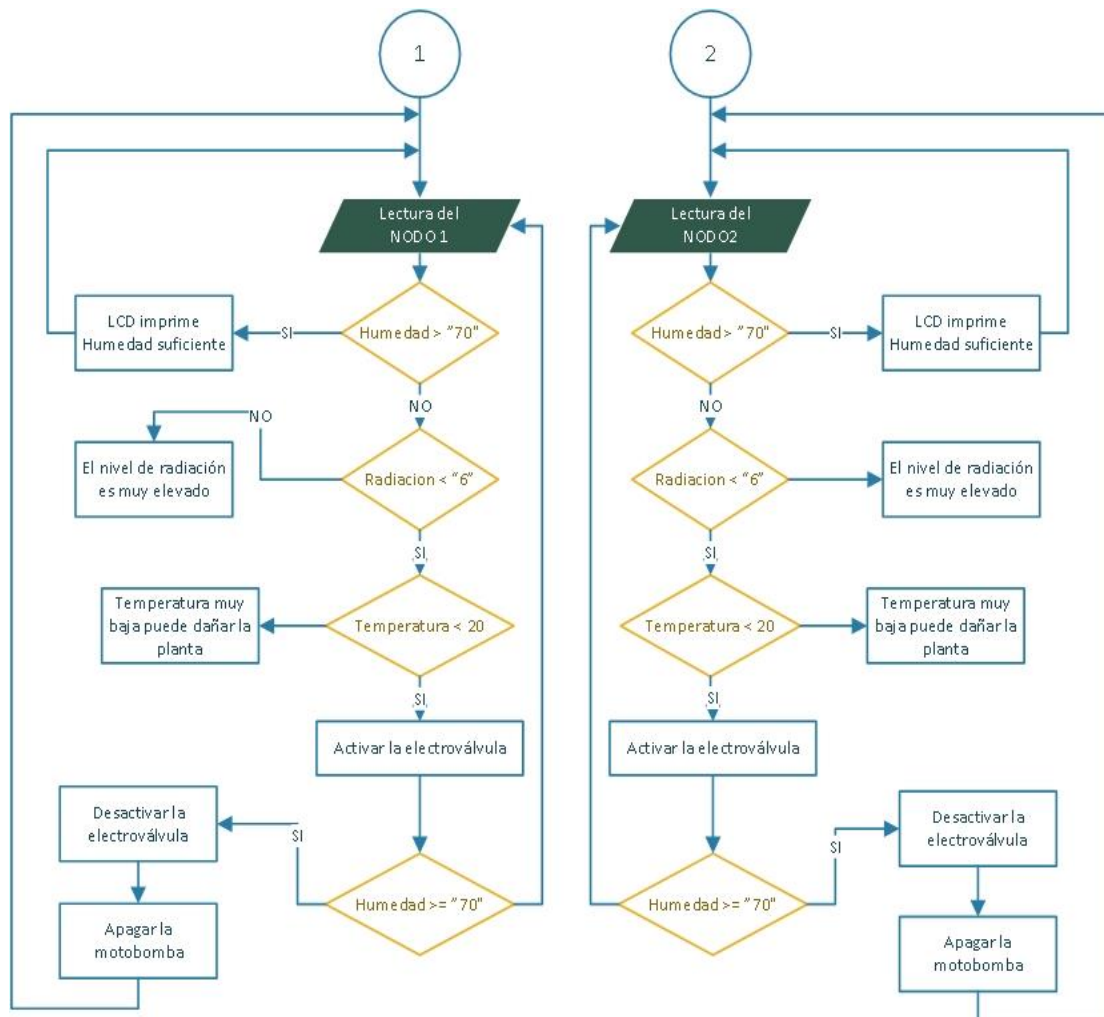
FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>Lora_Recep():</b>	Recibe, descompone y guarda la trama de datos del Nodo sensor 1.
<b>Lora_Recep2():</b>	Recibe, descompone y guarda la trama de datos del Nodo sensor 2.
<b>Visualizacion():</b>	Visualiza los datos recibidos por el nodo 1 y 2 en la pantalla LCD para el monitoreo.
<b>Lectura_Sensor():</b>	Permite la lectura de datos del sensor de nivel.
<b>Activacion_Elec():</b>	Permite la activación de la electroválvula mediante la activación del relé.
<b>Desactivacion_Elec():</b>	Permite la desactivación de la electroválvula si los parámetros se cumplen.

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

- La trama de datos receptada desde el nodo sensor 1 y 2 serán recibidas y guardadas con ayuda de las funciones **Lora\_Recep()**, **Lora\_Recep2()**. En donde se recibe los datos con un carácter especial y se los separa en tres variables distintas.
- Los datos recibidos por los nodos sensor serán visualizados en el dispositivo LCD con la ayuda de la función **Visualizacion()** donde van a ser monitoreados por el operario o agricultor.

- Lectura de datos del sensor ultrasónico, el cual funciona como sensor de nivel con la ayuda de la función **Lectura\_Sensor()**, permite saber mediante un mensaje visualizado en el LCD si el pozo cuenta con un nivel suficiente de agua.

En la siguiente Gráfico 6-2 se observa el proceso de control realizado mediante la comparación de los datos obtenidos por los dos nodos sensores y los requerimientos establecidos para el cultivo de cacao, el diagrama nos indica la serie de acciones a seguir para llegar a la activación y desactivación de actuadores.



**Gráfico 6-2:** Diagrama de flujo para inicialización del nodo control.

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

Se generan condiciones de acuerdo con los requerimientos planteados en el Capítulo 1 para la activación y desactivación de las electroválvulas con la ayuda de las funciones **Activacion\_Elec()** y **Desactivacion\_Elec()** en donde las variables de humedad del suelo son comparadas con un valor de consigna asignado en 70% el cual corresponde al nivel óptimo de humedad en un cultivo de cacao un déficit en este valor representa una activación de la electroválvula en el nodo que corresponda.

### 2.7.5 Comunicación de la tecnología LoRa

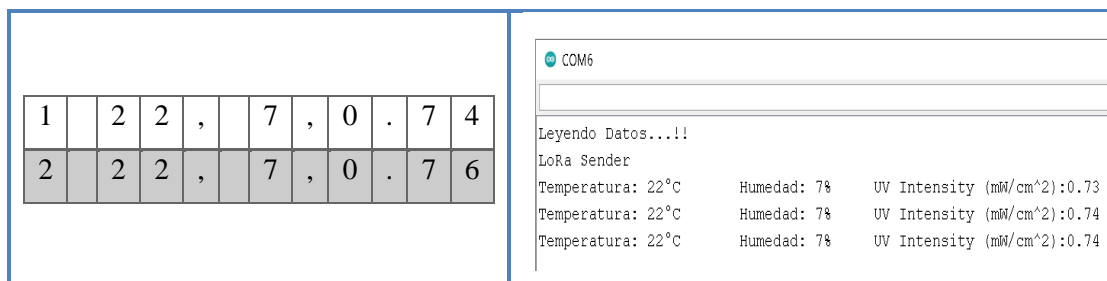
La comunicación inalámbrica del presente sistema electrónico se basa en dispositivos de tecnología LoRa Ra-01 SX1278 donde los dispositivos de los dos nodos sensor actúan como esclavos enviando una trama de datos mediante la comunicación al dispositivo maestro colocado en el nodo control, esta comunicación se basa en el protocolo SPI (Interfaz periférica Serial) el cual configura los siguientes parámetros base:

- Master In Slave Out (MISO): Línea esclava para enviar información al maestro.
- Master Out Slave In (MOSI): Línea maestra para enviar información a los periféricos.
- Reloj de serie (SCK): los pulsos de reloj que sincronizan la transmisión de la información gestionada por el maestro.
- Selección de esclavo (SS): Terminal específico para cada módulo (Cantuña y Satián, 2019: pp.75-80).

La frecuencia a la que los dispositivos trabajan es a 433 MHz, esta frecuencia no representa fallas al momento de interferencias debido a la localización aislada de la finca donde se implementó el sistema electrónico. Por otra parte, la velocidad de transmisión de datos por bit entre los dispositivos se estableció en 9600 baudios.

#### 2.7.5.1 Dispositivo Transmisor (nodos sensor)

El proceso de transmisión de datos se lo realiza por medio de cadenas de datos, enviando así tres datos cada hora al nodo control, es decir los sensores climáticos guardan en tres variables los datos medidos que forman una cadena mediante el uso del condicionamiento LoRa.begin() el cual indica el inicio del paquete a enviar y LoRa.end() que marca el fin del mismo, estos valores medidos se envían separando sus valores mediante el carácter “,” para facilitar la separación de datos en el nodo control como se puede observar en la Figura 17-2. Cada nodo envía su cadena de datos con un dato inicial de dirección el cual indica a que nodo pertenece cada cadena enviada.



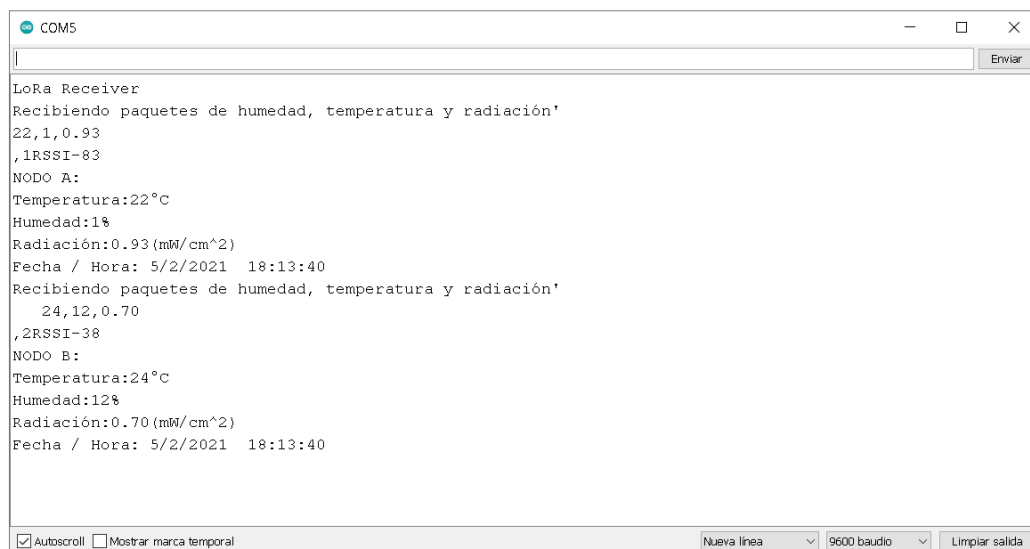
**Figura 17-2:** Separación de datos en el nodo control

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

### 2.7.5.2 Dispositivo Receptor (nodo control)

El objetivo de este dispositivo es recibir las cadenas de datos enviadas por los dos nodos sensor mediante un canal que trabaja a una frecuencia de 433 MHz, los datos son recibidos por el módulo LoRa mediante la función `LoRa.parsePacket()`, estos llegan en forma de cadena de tipo String y son separados por el carácter “,” que hace posible la división dentro de la cadena. Los datos son asignados en nuevas variables y convertidos en datos de tipo Int y Float para aplicarlos dentro de las condiciones del sistema electrónico.

Para identificar la cadena de datos de cada nodo trae un identificador y así el nodo control determina el nodo al que pertenece la información y a qué electroválvula direccionar la activación para iniciar el riego. La Figura 18-2 muestra la captura del monitor serial en donde se visualiza los datos recibidos por el nodo control como: temperatura, humedad, radiación, fecha y hora.



```
COM5
LoRa Receiver
Recibiendo paquetes de humedad, temperatura y radiación'
22,1,0.93
,1RSSI-83
NODO A:
Temperatura:22°C
Humedad:1%
Radiación:0.93 (mW/cm^2)
Fecha / Hora: 5/2/2021 18:13:40
Recibiendo paquetes de humedad, temperatura y radiación'
24,12,0.70
,2RSSI-38
NODO B:
Temperatura:24°C
Humedad:12%
Radiación:0.70 (mW/cm^2)
Fecha / Hora: 5/2/2021 18:13:40
```

**Figura 18-2:** Lectura de datos recibidos por el Nodo Control

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

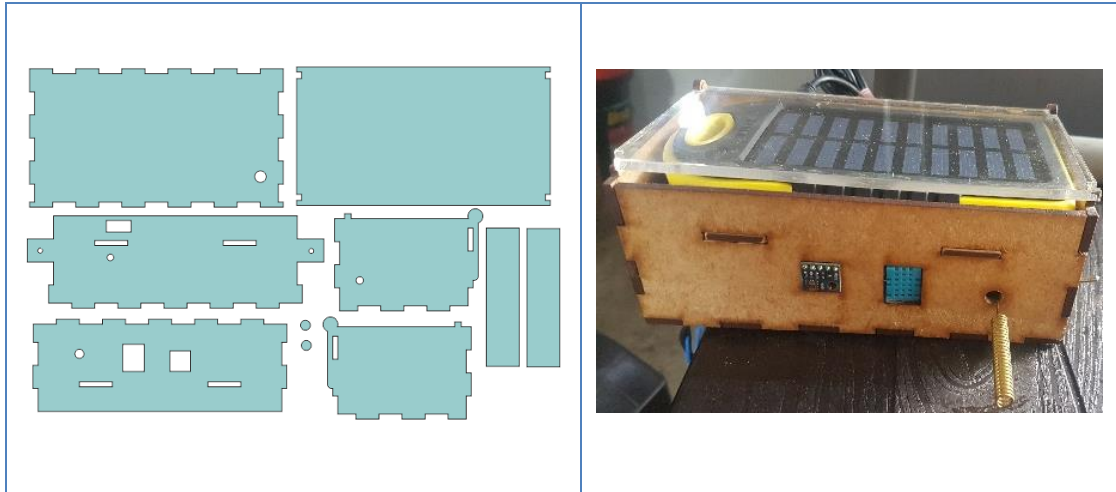
El código del programa utilizado para la comunicación inalámbrica entre estos dispositivos se lo puede apreciar en los Anexos 2 y 3 del presente documento.

## 2.8 Diseño de las cajas de protección para los nodos sensor

Las cajas de protección son diseñadas con la finalidad de proteger y transportar de forma práctica los nodos sensor en su interior se encuentra la placa PCB para la conexión de hardware y recolección de datos sensados. Esta caja fue diseñada con el software CorelDRAW realizando adaptaciones externas para una mejor toma de datos del sensor DHT11, YL-69 y ML8511.



Las cajas de los nodos sensor poseen una carcasa con unas dimensiones de 150 mm de largo, 85 mm de ancho y 54 mm de alto es armable con una tapa de acrílico para dejar pasar los rayos solares que permiten la carga del panel solar. La Figura 19-2 muestra el diseño de las cajas de protección realizado en CorelDRAW y el ensamblaje, mostrando en los nodos sensor.



**Figura 19-2:** Diseño de cajas de protección para los nodos sensor.

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

## CAPÍTULO III

### 3 VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

El presente capítulo muestra una serie de pruebas las cuales se realizaron tanto en los nodos sensor como en el nodo control una vez concluida la implementación del sistema electrónico de monitoreo y control de riego en cultivos de Cacao en la Finca “Emmanuel”. Las pruebas son en base a la validación de sensores climáticos, estabilidad de los nodos sensor, distancia alcanzada en la comunicación inalámbrica, visualización de mensajes, almacenamiento de datos, tiempo de duración de riego y consumo de potencia del sistema electrónico. Estas pruebas se realizaron para comprobar el funcionamiento de cada dispositivo y validar el funcionamiento en cada etapa del monitoreo y control con un análisis a nivel de hardware y software.

#### 3.1 Ubicación de los nodos sensor y nodo control instalados.

La implementación del sistema electrónico de monitoreo y control en tiempo real para el riego en cultivos de cacao se realizó en la finca “Emmanuel” localizada en el recinto San Pedro cantón Bucay provincia de Guayas. Donde se contó con el permiso del propietario para la implementación mencionada.

La Figura 1-3 muestra la ubicación de los dos nodos sensor los cuales se encuentran visualizados de color amarillo colocados a 15 m de cada poste de riego por aspersión y con una distancia de 80 m entre el nodo 1 y 2, por otra parte, de color rojo se visualiza la ubicación del nodo control.



**Figura 1-3:** Ubicación de nodos sensor y control.  
Realizado por: Sánchez, K. 2021.

Para una ubicación más precisa se tomaron datos de latitud y longitud del lugar donde se colocaron los nodos sensor 1 y 2 dentro de la propiedad, con el uso de una aplicación móvil llamada AndLocation, estos datos se pueden observar en la Tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Ubicación de los nodos que componen el sistema electrónico.

NODOS	LATITUD	LONGITUD
SENSOR 1	-2°10'42'' S	-79°15'7'' W
SENSOR 2	-2°10'41'' S	-79°15'6'' W
CONTROL	-22°27'18'' S	-59°32'32'' W

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

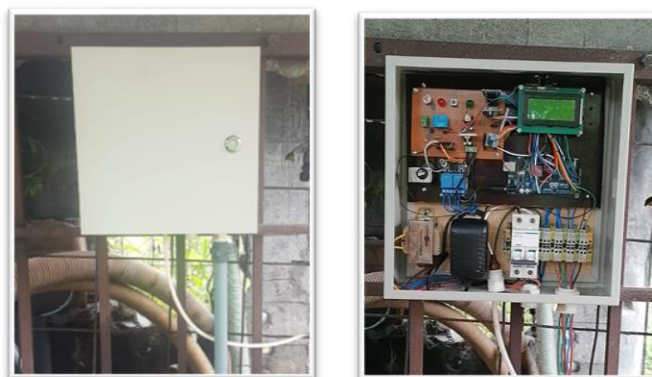
Los nodos sensor se pueden visualizar en la Figura 2-3 los cuales se encuentran funcionales dentro del cultivo de cacao con sus respectivos sensores, módulo de comunicación inalámbrica y cargador solar para su alimentación.



**Figura 2-3:** Nodo sensor con cargador solar (izquierda), nodos sensor funcionales (derecha).

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

El nodo control consta de una etapa de visualización mediante el uso de un LCD, una etapa de comunicación inalámbrica con el receptor LoRa, un selector para cambiar el sistema de manual a automático y el pulsador para indicar al sistema que la motobomba ya fue encendida, este último siempre contará con la intervención humana debido al accionamiento manual con el que cuenta la motobomba. El sistema requiere de un accionamiento por interrupción externa para iniciar con el control. La Figura 3-3 muestra la implementación del nodo control del sistema electrónico.



**Figura 3-3:** Nodo control implementación externa / interna.

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

La Figura 4-3 muestra los nodos sensor 1 y 2 colocados en la plantación de cacao con su respectivo sensor de humedad conectado mediante una adaptación de tubería para llegar a una profundidad de 50 cm del suelo.



**Figura 4-3:** Nodos sensor 1(izquierda) y nodo sensor 2 (derecha)

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

La Figura 5-3 muestra los postes de riego por aspersión en los que se encuentran instaladas las electroválvulas de 2'' con su respectiva alimentación la cual llega desde el nodo control. Estas electroválvulas cuentan con una alimentación de 24VAC los cuales se obtienen con la ayuda de un transformador.



**Figura 5-3:** Electroválvulas instaladas en los postes de riego.

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

La Figura 6-3 muestra la motobomba con la que cuenta el sistema de riego, esta cuenta con un encendido manual debido a la regulación de ralentí que requiere el equipo para su encendido y



apagado, la Figura 6-3 también muestra el reservorio natural de donde se extrae el agua para el riego.



**Figura 6-3:** Motobomba utilizada en el riego (izquierda), reservorio natural (derecha).

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

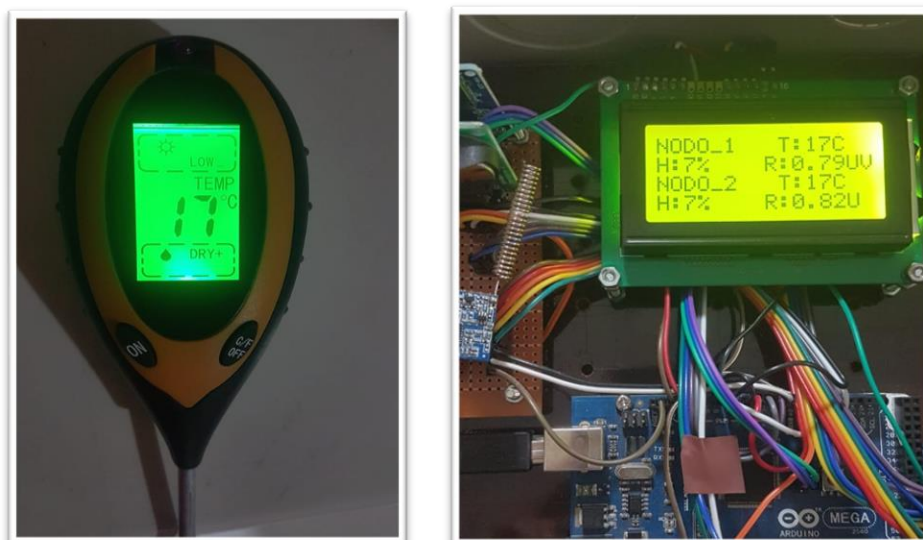
### 3.2 Prueba 1: Validación de sensores climáticos

El objetivo de esta prueba es determinar si los sensores del prototipo implementado en los nodos sensor no incorporan un error mayor al indicado por las especificaciones técnicas con las que cuenta en este caso el sensor de temperatura DTH11 y el sensor de humedad de suelo YL-69.

Para la validación de los sensores se trabajó con el medidor de humedad agrícola digital de la marca AMTAST número de serie AMT300 este dispositivo determina la humedad del suelo en 5 niveles de humedad, valor de pH, temperatura del ambiente y del suelo con un rango de -9 a 50 Celsius y de 16 a 122 grados Fahrenheit , el dispositivo posee una sonda con una longitud de 200 mm y realiza mediciones rápidas y precisas con un rendimiento confiable (SMI, 2020, pp. 2).

#### 3.2.1 Prueba de validación de sensor de temperatura DTH11

La Figura 7-3 muestra la medición realizada en el dispositivo comercial junto con los datos de temperatura de los dos nodos sensor visualizados en el LCD y medidos con el sensor DTH11, para la toma de muestras del margen de error con el que cuentan los nodos sensor creados.



**Figura 7-3:** Medición con AMT300 (izquierda), visualización de datos LCD (derecha).  
Realizado por: Sánchez, K. 2021.

La Tabla 2-3, muestra la recolección de los datos con los que se realizó la comparación entre el sensor DTH11 y el dispositivo comercial, los 15 datos que se pueden observar son recolectados en un período de 3 días a partir del viernes 5 de febrero del 2021 en diferentes horas de la mañana, tarde y noche, cabe recalcar que tanto el nodo sensor como el dispositivo comercial se encuentran trabajando en las mismas condiciones ambientales.

**Tabla 2-3:** Muestras realizadas por el medidor de humedad AMT300 y Sensor DTH11

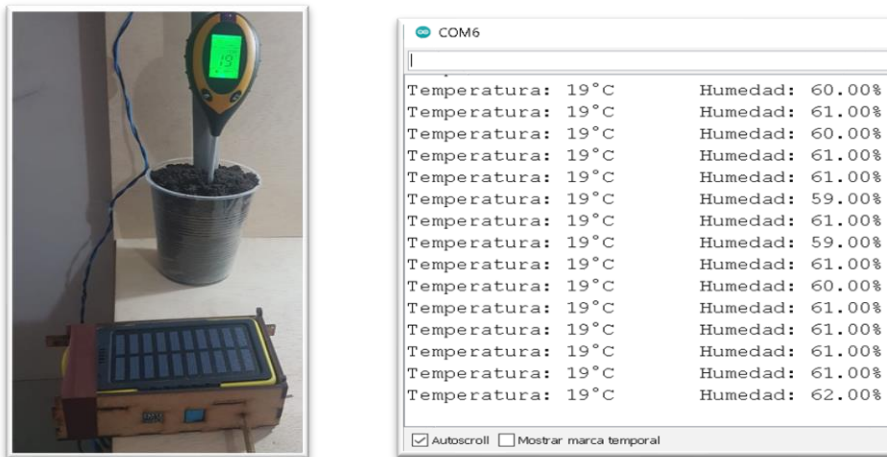
N° Muestra	Día	Hora	Dispositivo	Sensor	Error absoluto	Error relativo
			ATM300	DTH11		
			Celsius			
1	1	8:00	12	13	1	8,33
2		10:00	14	16	2	14,29
3		12:00	21	20	1	4,76
4		15:00	20	22	2	10,00
5		19:00	15	16	1	6,67
6	2	8:00	11	10	1	9,09
7		10:00	13	15	2	15,38
8		12:00	19	19	0	0,00
9		15:00	21	23	2	9,52
10		19:00	14	16	2	14,29
11	3	8:00	8	7	1	12,50
12		10:00	14	15	1	7,14
13		12:00	24	24	0	0,00
14		15:00	23	23	0	0,00
15		19:00	13	14	1	7,69

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

El Sensor DHT11 utilizado indica en su hoja técnica que su precisión es de  $\pm 2.0$  Celsius, del análisis de comparación entre el dispositivo comercial y el sensor utilizado se determinó que el dispositivo cuenta con un error absoluto de  $\pm 2$ , es decir el error mencionado por las especificaciones técnicas del sensor DTH11 se mantiene, indicando así que el dispositivo es confiable para sus mediciones.

### 3.2.2 Prueba de validación de sensor de humedad YL-69

La Figura 8-3 muestra las mediciones realizadas por el dispositivo comercial ATM300, el sensor de humedad YL-69 y el monitor serial de Arduino indicando los datos tomados.



**Figura 8-3:** Mediciones de humedad del suelo (izquierda), monitor serial Arduino (derecha).

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

La Tabla 3-3 muestra la recolección de un total de 11 datos con los cuales se realizó la comparación entre los datos de humedad obtenidos por el sensor YL-69 y el dispositivo comercial, estas mediciones se realizaron en un pequeño contenedor de 1 litro en donde se colocó tierra seca y cada 10 min se aplicó  $100 \text{ cm}^3$  de agua para así lograr una medida estable. El proceso se realizó en un lapso de 1 hora con 40 min con los dos dispositivos colocados a 14 cm de profundidad. Las pruebas que se realizaron tuvieron una primera medida de error hasta que el nodo Sensor entre en estabilidad y tenga una lectura de datos constante.

Es importante mencionar que el dispositivo digital con el que se realizó las mediciones trabaja con 5 niveles de humedad que van con indicativos desde muy seco hasta muy húmedo (DRY+, DRY, NOR, WET, WET+).

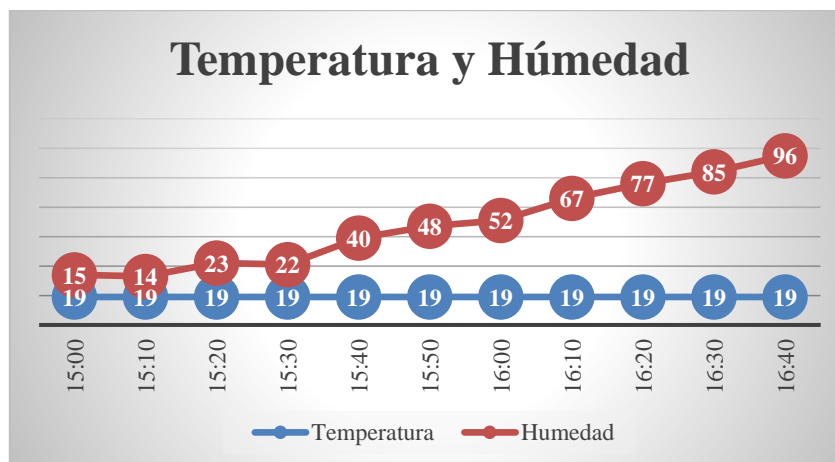
**Tabla 3-3:** Mediciones con sensor de humedad YL-69 y el dispositivo AMT300.

N° Muestra	Hora	Cantidad agua (cm3)	Indicativo del dispositivo	Dispositivo ATM300	Sensor YL-69	Error absoluto	Error relativo
				% Humedad			
1	15:00	0	Muy Seco	10	15	5	50,00
2	15:10	100		15	14	1	6,67
3	15:20	200		19	23	4	21,05
4	15:30	300	Seco	25	22	3	12,00
5	15:40	400		38	40	2	5,26
6	15:50	500	Normal	45	48	3	6,67
7	16:00	600		54	52	2	3,70
8	16:10	700	Húmedo	62	67	5	8,06
9	16:20	800		75	77	2	2,67
10	16:30	900	Muy húmedo	86	85	1	1,16
11	16:40	1000		95	96	1	1,05

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

Del análisis de comparación entre el dispositivo comercial y el sensor de humedad YL-69 utilizado de la Tabla 3-3 anterior se determinó que el nodo Sensor trabajando con el sensor de humedad de suelo cuenta con un error absoluto de 5 centibares en comparación al dispositivo ATM300, es decir el margen de error es bajo y el diseño creado no incorpora error al sensor.

El Gráfico 1-3 muestra los valores de humedad y temperatura tomados durante las mediciones de humedad en la tabla anterior, se observó como la temperatura se mantiene constante en el lapso de 1 hora con 40 min, confirmando así el correcto funcionamiento de los sensores dentro del nodo Sensor.



**Gráfico 1-3:** Valores de humedad y temperatura.

Realizado por: Sánchez, K. 2021.



El tercer sensor el cual mide el nivel de radiación no cuenta con pruebas debido a la falta de disponibilidad de un equipo que mida el nivel de radiación y a los altos costos de adquisición de los equipos existentes en el mercado.

### **3.3 Prueba 2: Estabilidad en el nodo sensor**

Esta prueba tiene por objetivo conocer la estabilidad que posee el nodo sensor a través de la obtención del coeficiente de variación, este coeficiente no debe superar el 1.293% que indica el INE cuando se trata de la creación de nuevos proyectos (Talla, 2019, p.60) y (INE, 2019, p.1).

Para conocer si el nodo sensor es o no estable se procedió a recolectar 15 datos de los sensores de temperatura, humedad y radiación con la ayuda del almacenamiento de datos en la memoria microSD, a su vez se procedió a medir los valores de voltaje de cada uno de los sensores con la ayuda del multímetro MT-1260 de la marca Pro'sKit. Estos datos fueron llevados a la herramienta de Microsoft Excel 2018 donde se realizó el cálculo de la media, varianza y coeficiente de variación.

Para conocer el promedio de voltaje con el que trabajó cada sensor se aplicó la estadística descriptiva calculando la media con el uso de la Ecuación 1-3 (Chulde, 2017, p.80), esta ecuación representa el resultado de la suma de todas las observaciones que se realizaron dividiéndolas para el número total de observaciones.

**Ecuación 1-3:** Cálculo de la media aritmética.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1-3)$$

Donde:

$\mu$  = Media aritmética.

$X_i$  = Valor de las observaciones.

$n$  = Número de observaciones.

Por otra parte se calculó la desviación estándar y coeficiente de variación con la Ecuación 2-3 y Ecuación 3-3 (Chulde, 2017, p.80), para determinar si el nodo Sensor se encuentra dentro del rango del coeficiente de variación que indica el INE. Las Ecuaciones son descritas a continuación:

**Ecuación 2-3:** Cálculo de la desviación estándar.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (2-3)$$

Donde:

$\sigma$  = Desviación estándar.

$\mu$  = Media aritmética.

$X_i$  = Valor de las observaciones.

$n$  = Número de observaciones.

**Ecuación 3-3:** Cálculo del coeficiente de variación.

$$CV = \frac{\sigma}{u} * 100\% \quad (3-3)$$

Donde:

**CV** = Coeficiente de variación.

$\sigma$  = Desviación estándar.

$\mu$  = Media aritmética.

La Tabla 4-3 muestra las mediciones que se obtuvieron con la ayuda de los sensores de temperatura, humedad y radiación y su respectivo voltaje entregado.

**Tabla 4-3:** Mediciones de temperatura, humedad, radiación y voltaje.

N° Muestras	Sensor DTH11	Voltaje de sensor (V)	Sensor YL-69	Voltaje de sensor (V)	Sensor ML8511	Voltaje de sensor (V)
1	18	4	87	1,19	0,83	1,01
2	18	4,01	87	1,19	0,83	1,01
3	18	4	88	1,16	0,83	1,01
4	18	4	88	1,16	0,84	1,01
5	18	4	88	1,16	0,84	1
6	18	4	88	1,16	0,84	1,01
7	18	4	88	1,16	0,84	1,01
8	18	4	88	1,16	0,84	1,03
9	18	4	88	1,16	0,84	1,03
10	18	4	88	1,16	0,84	1,03
11	18	3,99	88	1,16	0,84	1,03
12	18	4	88	1,16	0,84	1,03
13	18	4	88	1,16	0,84	1,03
14	18	4	88	1,16	0,84	1,03
15	18	4	88	1,16	0,84	1,03
<b>Media</b>	18	4,0000	87,8667	1,1640	0,8380	1,0200
<b>Desviación Estándar</b>	0	0,00378	0,35187	0,01056	0,00414	0,01134
<b>Coeficiente de variación (%)</b>	0	0,09449	0,40045	0,90687	0,49408	1,11166

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

De la Tabla 4-3 se puede concluir que los niveles del coeficiente de variación obtenidos por los voltajes de cada sensor no exceden el valor establecido por el INE el cual corresponde al 1,293%, estos valores corresponden al coeficiente de variación del sensor de temperatura con una medición de 18 Celsius y un coeficiente de 0,09449%. El sensor de humedad de suelo con un promedio de 88 % con un coeficiente de 0,90687% y el sensor de radiación en 0,83 el cual corresponde a un valor inmediato superior de 1UV con un coeficiente de 1,11166% con estos datos calculados se puede concluir que el nodo Sensor es estable.

### **3.4 Prueba 3: Alcance de la comunicación inalámbrica**

Esta prueba se realizó con el objetivo de conocer la distancia de alcance de transmisión y recepción de datos entre los dispositivos maestro – esclavos representados por el nodo control y los nodos sensor, así como en el cumplimiento de uno de los requerimientos de hardware el cual indica que el nodo debe cumplir con una cobertura de 100 m.

La prueba se realizó en el lugar de implementación con la ayuda de un flexómetro de 50 m, la transmisión de datos se realizaba cada 20 m enviando al nodo control las mediciones de temperatura, humedad de suelo y radiación. La comunicación inalámbrica como ya se ha mencionado a lo largo de toda la investigación es en base a la tecnología LoRa con el dispositivo SX1278 trabajando a una frecuencia de 433 MHz.

Para mantener una correcta transmisión y recepción de datos fue necesario el tener en cuenta la altura a la que se colocaba el nodo debido a la irregularidad del terreno, la altura de las plantas de cacao y a la ganancia que posee la antena con la que se adquirió el dispositivo, acciones que dificultaban la interacción entre dispositivos y se resolvió aumentando la altura de posicionamiento del nodo sensor.

En la Tabla 5-3 se puede visualizar las mediciones tomadas a diferentes distancias entre los distintos nodos, con el nodo control representando al dispositivo de recepción (maestro) y los nodos móviles independientes representados por los nodos sensor (esclavos).

**Tabla 5-3:** Mediciones de distancia para alcance de tecnología LoRa.

Altura (m)	Distancia (m)	Humedad %	Temperatura Celsius	Radiación UV	Comunicación	Transferencia de datos
1	5	12	24	5,24	100%	Sin Pérdida
1	20	93	24	5,25	100%	Sin Pérdida
1	40	91	24	5,26	100%	Sin Pérdida
1	60	88	24	5,27	100%	Sin Pérdida
1	80	90	24	5,28	100%	Sin Pérdida
1	100	84	24	5,29	100%	Sin Pérdida
1	120	-	-	-	0%	Pérdida
1	140	92	24	5,31	100%	Sin Pérdida
1	160	90	24	5,32	100%	Sin Pérdida
1	180	91	24	5,33	100%	Sin Pérdida
1,50	200	87	24	5,34	100%	Sin Pérdida
1,50	220	90	24	5,35	100%	Sin Pérdida
1,50	240	91	24	5,36	100%	Sin Pérdida
1,50	260	90	24	5,37	100%	Sin Pérdida
1,50	280	87	24	5,38	100%	Sin Pérdida
2	300	88	24	5,39	100%	Sin Pérdida
2	320	85	24	5,40	100%	Sin Pérdida
2	340	90	24	-	50%	Pocas Pérdidas
2	360	90	-	-	50%	Pocas Pérdidas
2	380	-	-	-	0%	Pérdidas
2	400	-	-	-	0%	Perdidas

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

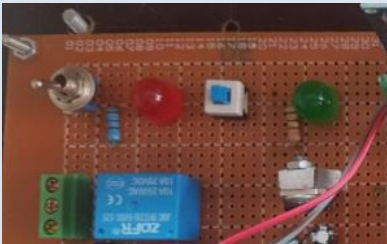





Del análisis de la Tabla 5-3 anterior se puede concluir que el alcance de transmisión y recepción de datos fue de 5 a 320 m con una transmisión y recepción exitosa contando con una sola pérdida de datos la cual se debe a que en el punto de transmisión donde se encontraba el nodo sensor el terreno mostraba una irregularidad ya que este se encontraba atravesado por un pequeño canal de agua lo cual provocaba que la antena se encontrara a 1 m por debajo del nivel normal del terreno obteniendo en este punto una falta de transmisión de datos y comunicación por parte del nodo. A partir de los 380 m de distancia el nodo Sensor empieza a tener pérdidas de datos y poca comunicación por lo que el rango que cubre la comunicación inalámbrica es hasta los 320 m.

En base a estos datos se concluye también que la distancia de 100 m de cobertura la cual es requerida por el sistema electrónico se cumple sin ningún inconveniente, con el nodo sensor colocado a 1 m de altura demostrando que la comunicación inalámbrica empleada es adecuada para la implementación.

### 3.5 Prueba 4: Visualización de lecturas y mensajes en LCD del sistema electrónico

El objetivo de esta prueba es verificar la correcta difusión de lecturas de los parámetros de medición y mensajes de alerta, los cuales son programados en la tarjeta de desarrollo Arduino en base a los requerimientos que se deben cumplir para mantener una humedad correcta dentro del cultivo de cacao y el sensor de nivel que se colocó a 1m de profundidad en el reservorio natural donde se obtiene el agua para el riego. Los mensajes son visualizados en la pantalla LCD, las pruebas realizadas mediante variación en las entradas digitales para acceder a todos los posibles casos. En la Tabla 6-3 se muestra los resultados de la difusión de mensajes en el LCD cuando el nodo 1 se encuentra con una humedad de 15% es decir baja y el nodo 2 que se encuentra con una humedad de 93 % que es alta, estos mensajes se visualizan en los dos modos de operación en el que se encuentra trabajando el sistema electrónico.

**Tabla 6-3:** Resultados de difusión de mensajes en el dispositivo LCD.

Modo de Funcionamiento	Visualización de mensajes	Observación
<p><b>Sistema Manual</b></p> 		<p>El sistema electrónico entrega constantemente los estados de los nodos 1 y 2, fecha y hora.</p>
		
		<p>Mensaje de alerta de la humedad y la disposición de agua.</p>
		<p>Mensaje indicativo del nodo que se encuentra con menor humedad.</p>
<p><b>Sistema Automático</b></p>		<p>Mensaje indicativo del nodo que se encuentra en humedad suficiente.</p>



Realizado por: Sánchez, K. 2021.

En la Tabla 6-3 anterior se presenta la visualización de mensajes informativos y de alerta según indiquen las variables ambientales de los nodos, este cuenta con dos opciones de funcionamiento manual y automático, pero en los dos casos los mensajes del estado de los nodos 1 y 2 (lectura de datos de las variables climáticas) es constante, así como los mensajes indicativos de la fecha y hora. Por lo que se concluye que no existe error alguno en la visualización ya que todo está acorde a lo diseñado y establecido en el diseño electrónico.

### 3.6 Prueba 5: Almacenamiento de datos en microSD.

Esta prueba se realizó con el objetivo de visualizar el correcto almacenamiento de datos recolectados por los nodos sensor 1 y 2, la información es almacenada en una memoria microSD que consta de: fecha, hora, variables de humedad radiación y temperatura tanto del nodo sensor 1 como del nodo sensor 2. A la izquierda de la Figura 9-3 se puede observar el archivo .txt que presenta todos los valores de datos recolectados del viernes 12 de febrero de 2021 en tres horas.

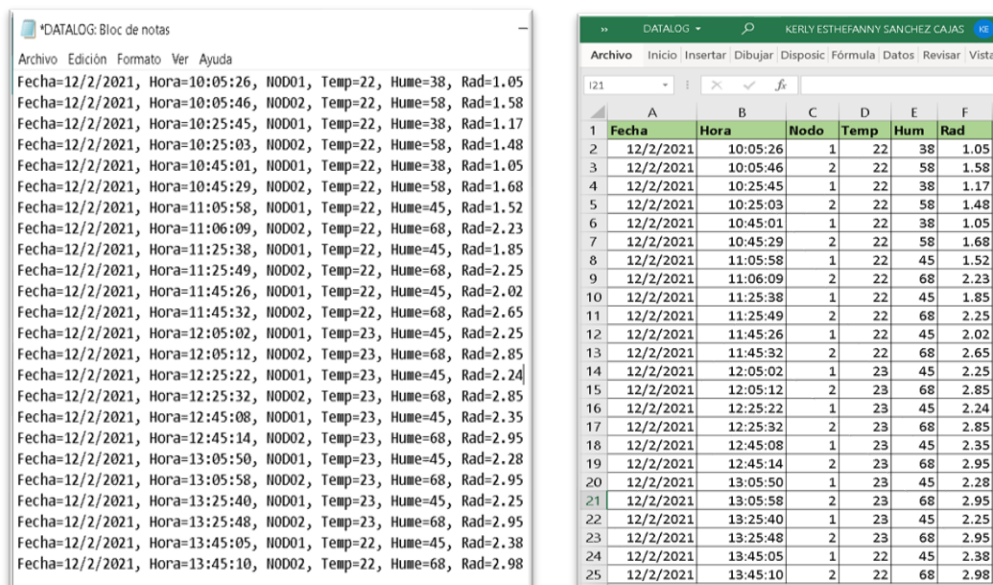


Figura 9-3: Datos en el archivo .txt (izquierda), datos en Microsoft Excel(derecha).

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

La Tabla 7-3 muestra 24 datos recolectados y exportados al software Microsoft Excel 2018, en donde se puede corroborar que los datos son almacenados de forma correcta indicando la fecha y hora que se obtuvieron. Estos datos sirven para llevar un registro del comportamiento de las variables climáticas dentro del cultivo de cacao.

**Tabla 7-3:** Datos recolectados por los nodos sensor.

Fecha	Hora	Nodo	Temp	Hum	Rad
12/2/2021	10:05:26	1	22	38	1,05
12/2/2021	10:05:46	2	22	58	1,58
12/2/2021	10:25:45	1	22	38	1,17
12/2/2021	10:25:03	2	22	58	1,48
12/2/2021	10:45:01	1	22	38	1,05
12/2/2021	10:45:29	2	22	58	1,68
12/2/2021	11:05:58	1	22	45	1,52
12/2/2021	11:06:09	2	22	68	2,23
12/2/2021	11:25:38	1	22	45	1,85
12/2/2021	11:25:49	2	22	68	2,25
12/2/2021	11:45:26	1	22	45	2,02
12/2/2021	11:45:32	2	22	68	2,65
12/2/2021	12:05:02	1	23	45	2,25
12/2/2021	12:05:12	2	23	68	2,85
12/2/2021	12:25:22	1	23	45	2,24
12/2/2021	12:25:32	2	23	68	2,85
12/2/2021	12:45:08	1	23	45	2,35
12/2/2021	12:45:14	2	23	68	2,95
12/2/2021	13:05:50	1	23	45	2,28
12/2/2021	13:05:58	2	23	68	2,95
12/2/2021	13:25:40	1	23	45	2,25
12/2/2021	13:25:48	2	23	68	2,95
12/2/2021	13:45:05	1	22	45	2,38
12/2/2021	13:45:10	2	22	68	2,98

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

### 3.7 Prueba 6: Tiempo de riego del sistema electrónico.

Esta prueba se realizó con el objetivo de determinar el tiempo en el que el sistema electrónico alcanza la humedad óptima para el cultivo y determinar si el sistema electrónico mejoró el proceso antes realizado por el sistema de riego mecánico con el que contaba la finca “Emmanuel”. Es importante mencionar que el método tradicional de riego a través del sistema mecánico consistía en regar el cultivo durante 40 min una vez por semana sin considerar la valoración de un porcentaje de humedad del suelo.

Para la toma de datos del tiempo se colocó el nodo sensor a 15 m del poste de aspersión con el respectivo sensor de humedad enterrado a 30 cm del suelo, esta distancia fue seleccionada

tomando en cuenta que el aspersor cubre 25 m de radio colocando el sensor de humedad en un punto medio para notar la variación de humedad en el suelo. Esta prueba se realizó en el lugar de implementación desde el miércoles 3 de febrero del 2021 hasta el 7 de febrero del mismo año, los tiempos se obtuvieron con la ayuda de un cronómetro.

**Tabla 8-3:** Comparación de tiempo de riego.

N° Muestra	Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Humedad (%)	Tiempo de riego (min)
1	3/2/2021	11:00 – 11:21	45	52	5:15
2			45	56	5:30
3			45	60	5:17
4			45	65	5:25
5			45	79	5:16
<b>TOTAL</b>					26:43
6	6/2/2021	09:05 – 09:26	45	59	5:08
7			45	65	5:15
8			45	69	5:20
9			45	76	5:16
<b>TOTAL</b>					20:59
10	7/2/2021	10:36 – 11:03	45	55	5:29
11			45	59	5:12
12			45	63	5:17
13			45	69	5:20
14			45	76	5:16
<b>TOTAL</b>					26:34

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

De la Tabla 8-3 anterior se observa que el tiempo máximo que tardó el sistema electrónico en llegar a un rango de humedad óptima para el cultivo de cacao es de 26:43 min, con una humedad inicial de 52%, cabe mencionar que el tiempo varía respecto a la humedad que se detecte en un determinado punto o a las condiciones climáticas que se presentan. En los tres días de riego se observaron humedades de suelo de 59% con un tiempo de riego de 20:59 y una humedad de 55% con un tiempo de riego de 26,34 min.

Realizando una relación entre el tiempo de riego con el sistema mecánico tradicional (40 min) y el tiempo que tardó el sistema electrónico en alcanzar una humedad óptima (26,43 min) se determina que el sistema electrónico cuenta con una reducción de tiempo de riego del 34%. Por otra parte, el valor de caudal con el que se trabajó es de 45 m<sup>3</sup>/h se puede llegar a una relación de la cantidad de agua utilizada por el sistema de riego mecánico tradicional y el sistema electrónico



donde se determina que el primer sistema mencionado utiliza 30.015 m<sup>3</sup> de agua en 40 min y el sistema electrónico utiliza 19.845 m<sup>3</sup> en 26.43 min.

Dados los datos antes mencionados se concluye que con el sistema electrónico implementado se reduce el tiempo de riego a comparación del sistema mecánico tradicional con el que se contaba, además el consumo de agua se reduce en un 66% demostrando un ahorro del recurso hídrico y evitando el desperdicio del mismo, por otra parte, el sistema electrónico cuenta con un control en base a la humedad requerida por el suelo lo que evita que el riego sea realizado sin necesidad convirtiendo al sistema electrónico implementado en una herramienta de ayuda debido a que el cultivo va a contar con un control de riego más tecnificado.

### 3.8 Prueba 7: Consumo de potencia del sistema electrónico

Esta prueba se realizó con el objetivo de conocer cuál es el consumo de potencia del sistema electrónico el cual se compone por los nodos sensor y control, la prueba se realizó con mediciones de voltaje tomadas con el multímetro MT-1260 de la marca Pro'sKit y mediciones de corriente con el uso del multímetro analógico EM331 de la marca Allosun los datos fueron tomados cuando el sistema electrónico se encontraba en operación, en la Figura 10-3 se observan las mediciones realizadas con los diferentes multímetros.



**Figura 10-3:** Mediciones realizadas en el nodo Sensor voltaje (izquierda) / corriente (derecha).

**Realizado por:** Sánchez, K. 2021.

Para el cálculo de la potencia de cada elemento se utilizó de la Ecuación 4-3 (Cantuña y Satián, 2019: p.80) descrita a continuación:

**Ecuación 4-3:** Cálculo de potencia.

$$P_E = V_{cc} * I_{cc} \quad (4-3)$$

Donde:

$P_E$  = Potencia eléctrica necesaria.

$V_{CC}$  = Voltaje de alimentación.

$I_{CC}$  = Corriente consumida.

Con los datos de voltaje y corriente que se obtuvieron con la ayuda del multímetro se realizó los cálculos de potencia y consumo energético del sistema electrónico mostrados en la Tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Consumo energético del sistema electrónico.

<b>NODO SENSOR</b>	<b>Voltaje DC (V)</b>	<b>Corriente operación (mA)</b>	<b>Potencia (mW)</b>
Arduino Nano	5,1	38	193,80
Modulo Lora Transmisión	3,5	3,6	12,60
Sensor DTH11	3,5	1,2	4,20
Sensor YL-69	3,17	24	76,08
Sensor ML8511	3,17	4,8	15,22
Led Rojo	1,27	2,5	3,18
Regulador voltaje	5,1	38	193,80
<b>TOTAL</b>		112,1	498,87
<b>NODO CONTROL</b>			
Arduino MEGA	9,27	90	834,30
Modulo Lora Recepción	3,5	1,2	4,20
Pantalla LCD	5	310	1550,00
Sensor de Nivel	5	1,2	6,00
Modulos Relé	5,04	285	1436,40
Lector microSD	5,04	1,8	9,07
RTC DS1302	5,04	1,5	7,56
Regulador voltaje	9,27	26,8	248,44
Led Rojo	1,98	5	9,90
Led Verde	2,43	6,8	16,52
<b>TOTAL</b>		953,5	5120,13
<b>ETAPA ACTUADOR</b>			
	<b>Voltaje AC (V)</b>	<b>Corriente AC (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>
Electroválvula	31,5	1,3	40,95

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

De la Tabla 9-3 se observa el consumo de potencia que posee el nodo sensor 1 y 2 corresponde a 498,87 mW cada nodo, mientras que el nodo control trabaja con una potencia total de 5120,13 mW correspondiendo a los 5,12 W de potencia, cabe mencionar que la etapa actuador del nodo control cuenta con corrientes y voltajes alternos por lo que se procede a calcular sus equivalentes en voltaje y corriente continua con las Ecuación 5-3 y Ecuación 6-3 obtenidas de (Hart, 2001, p.119) que se muestran a continuación:

**Ecuación 5-3:** Cálculo de voltaje promedio de salida.

$$V_{DC} = \frac{2V_m}{\pi} = 44,55 V \quad (5-3)$$

Donde:

$V_{DC}$  = Valor promedio del voltaje de salida.

$V_m$  = Voltaje medio.

**Ecuación 6-3:** Cálculo de corriente promedio de salida.

$$I_{AC} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 1.17 A \quad (5-3)$$

Donde:

$I_{AC}$  = Valor promedio de corriente.

$I_p$  = Corriente pico.

El cálculo realizado con las ecuaciones anteriores para determinar el voltaje y corriente continua de la electroválvula presentan un resultado de 44,55 V y 1,17 A, con estos datos se procedió a calcular la potencia en la electroválvula con la ayuda de la Ecuación 4-3 y su resultado es sumado a la potencia total del nodo de control dando con resultado un total de 5,2 W de potencia consumida.

Dado el procedimiento anteriormente mencionado se concluye que el sistema electrónico presenta un consumo de potencia total de 6,17 W este valor toma en cuenta las potencias de los dos nodos sensor y el nodo control dando como resultado un bajo consumo en el sistema electrónico implementado.

### **3.9 Prueba 8: Análisis de autonomía del cargador solar.**

Esta prueba tiene como objetivo conocer el tiempo de autonomía con el que cuenta el nodo sensor mientras se encuentra alimentado con el cargador solar. La prueba se realizó midiendo la corriente que entregaba el cargador solar hasta descargarse durante un período de 3 días iniciando desde el 11 de febrero del 2021 hasta el 13 de febrero del 2021, cabe mencionar que el nodo sensor maneja una lectura de datos cada 20 min.

Para la selección de la batería se procedió a medir la corriente que entrega la batería al nodo sensor con la ayuda del multímetro MT-1260 Pro'sKit el cual mostro una corriente de 89 mA cuando se encuentra en operación, es importante mencionar que el cargador solar cuenta con una batería interna de 6000mAh y un panel solar de 5V a 200mA.

Para determinar la autonomía con la que cuenta el nodo sensor se procede a calcular la potencia consumida por el mismo con la Ecuación 7-3 con el voltaje que entrega el cargador el cual corresponde a 5V, así como la potencia consumida por la batería con la Ecuación 8-3.

**Ecuación 7-3:** Cálculo de la potencia del nodo Sensor.

$$P_{N\ Sensor} = V * I_{N\ Sensor} \quad (7-3)$$

$$P_{N\ Sensor} = 5V * 89mA = 445\ mW$$

**Ecuación 8-3:** Cálculo del consumo de la batería.

$$P_{Batería} = V * I_{Batería} \quad (8-3)$$

Finalmente, para calcular el tiempo de autonomía se realiza la división entre la corriente que dispone la batería y la corriente de consumo del nodo Sensor para lo cual se utiliza la Ecuación 9-3 que muestra a continuación:

**Ecuación 9-3:** Cálculo del tiempo de autonomía.

$$TA = \frac{\text{Corriente de la batería [mAh]}}{\text{Corriente del dispositivo [mA]}} = 67.42\ h \quad (9-3)$$

En base al cálculo anterior se determina que la batería interna con la que cuenta el cargador presenta una duración de 2 días con 19 horas en operación, en la Tabla 10-3 se puede observar las fechas de las muestras tomadas en los días de prueba junto con el consumo de batería de cada día y el consumo total del nodo sensor.

**Tabla 10-3:** Muestras del consumo de batería por cada día de prueba.

Nº Muestras	Fecha	Consumo de la batería (mW)	Potencia del Nodo Sensor (mW)
1	11/2/2021	1152	445
2	12/2/2021	1141,76	445
3	13/2/2021	1146,88	445

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

## CAPÍTULO IV

### 4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El presente capítulo detalla un análisis de los costos realizados en la implementación del sistema electrónico, para lo cual se realizó la suma de todos los elementos utilizados a excepción del costo de mano de obra que no se incluyó. La Tabla 1-4 muestra un detalle y costo de los elementos utilizados en la implementación del sistema electrónico.

**Tabla 1-4:** Detalle de costos del sistema electrónico.

	DISPOSITIVOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL	
<b>NODOS SENSOR</b>	LoRa SX1278 Ra-01	2	\$15,50	\$31,00	
	Arduino Nano	2	\$9,00	\$18,00	
	Sensor DTH11	2	\$3,00	\$6,00	
	Sensor Humedad YL-69	2	\$4,00	\$8,00	
	Sensor ML8511	2	\$9,00	\$18,00	
	Cargador Solar	2	\$10	\$20,00	
	Varios	1	\$32	\$32,00	
	<b>TOTAL</b>			<b>\$82,50</b>	<b>\$133,00</b>
<b>NODO CONTROL</b>	LoRa SX1278 Ra-01	1	\$15,50	\$15,50	
	Arduino Mega	1	\$15	\$15,00	
	Módulos relé de 2 canales	1	\$5	\$5,00	
	Lector de tarjeta microSD	1	\$3,50	\$3,50	
	Modulo RTC DS1302	1	\$4,00	\$4,00	
	LCD 16x4	1	\$11	\$11,00	
	Fuente de Alimentación 9V 2A	1	\$10	\$10,00	
	Transformador 12V a 2A	1	\$9,50	\$9,50	
	Electroválvulas	2	\$65	\$130,00	
	Caja de Protección	1	\$20	\$20,00	
	Varios	1	\$45	\$45,00	
	<b>TOTAL</b>				<b>\$268,50</b>
	<b>COSTO TOTAL DE SISTEMA ELECTRÓNICO</b>				<b>\$401,50</b>

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

De la Tabla 1-4 anterior se observa que el costo total del sistema electrónico es del \$401,50, donde el costo del nodo sensor es de \$133 que representa el 33% del costo total y el nodo control con un costo de \$268.50 que representa el 67%.

En base a la información dada por el propietario, la producción del cultivo de cacao mantiene ingresos de \$4 000 al año por lo que el costo de implementación del sistema representa el 10% de

este ingreso, por lo que el costo puede ser recuperado en un corto período de tiempo, además de que existirá un mayor control y ahorro de recursos.

#### 4.1 Comparación de costos de dispositivos comerciales con el sistema electrónico

Debido a la falta de un equipo comercial que ejecute todas las acciones de los dos nodos que componen el sistema electrónico implementado en un solo dispositivo, se procedió a comparar dispositivos comerciales de similares características con cada nodo de forma individual para luego realizar una comparación de costos a nivel general.

En el mercado se cuenta con un dispositivo llamado G7-AD-SH de la marca EASEMIND el cual es un sensor de riego agrícola que trabaja a 12V con tecnología LoRa y RF, permite la captura de datos de humedad del suelo a través de un sensor analógico, además cuenta con sensores para medir la temperatura del suelo, rayos UV y niveles de CO<sub>2</sub>, este dispositivo recolecta datos mediante sensores que trabajan en tiempo real enviando esta información a una estación llamada X7 que trabaja con plataformas IoT para registrar los datos, el precio de este dispositivo es de \$300 (Amazon, 2021, p.1). La Figura 1-4 muestra el dispositivo G7-AD-SH con su estación base.



**Figura 1-4:** Dispositivo G7-AD-SH

**Fuente:** (Amazon, 2021,).

Otro dispositivo que se encuentra en el mercado y puede ser comparado con el nodo control es el programador de riego Hydrawise de la marca Hunter, este dispositivo cuenta con 12 estaciones posee conexión wifi, cuenta con un control por zonas además de entradas para sensores de lluvia, el control de riego se lo realiza por tiempo de riego y el costo de adquisición es de \$368 (Amazon, 2021,p.1). La Figura 2-4 muestra el modelo de programador existente en el mercado.



**Figura 2-4:** Programador Hydrowise Hunter.

Fuente: (Amazon, 2021.).

En la Tabla 3-4 se muestra la comparación del costo calculado del sistema electrónico con el costo de los dos dispositivos comerciales.

**Tabla 2-4:** Comparación de costos de dispositivos.

DISPOSITIVO	COSTO
Sistema Electrónico implementado	\$401.50
Dispositivo G7-AD-SH	\$300
Programador Hydrowise	\$368
<b>TOTAL</b>	<b>\$668</b>

Realizado por: Sánchez, K. 2021.

En la Tabla 3-4 anterior se comparan los costos de adquisición de los dispositivos G7-AD-SH y Hydrowise, la forma de operar de estos dos dispositivos representaría el control que realiza todo el sistema electrónico pero con un costo de \$668 valor que comparado con el sistema electrónico excede en un valor de \$266.50 representando el 39.89% del costo total del sistema electrónico por lo que se concluye que el sistema electrónico implementado es de bajo costo y puede convertirse en una herramienta para mantener el riego dentro del cultivo de cacao con un control más tecnificado en base a los requerimientos de humedad del suelo que presente el cultivo.

## CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema electrónico de monitoreo y control en tiempo real para el riego en cultivos de cacao con mensajes informativos y alerta mediante una pantalla LCD. Consta de dos nodos sensor y un nodo control, con comunicación inalámbrica del tipo LoRa para el monitoreo de variables ambientales como: temperatura, humedad del suelo y radiación que se almacenarán en una memoria microSD.
- Para el diseño de hardware del sistema electrónico se utilizaron dispositivos comerciales de bajo costo y consumo energético como tarjetas de desarrollo Arduino, sensores de temperatura DTH11, de humedad de suelo YL-69 y de radiación ML8511 que permitieron obtener datos para el monitoreo del sistema electrónico propuesto.
- De las pruebas realizadas para la validación de los sensores: DTH11 con un error de medición de  $\pm 2.0$  Celsius y un coeficiente de variación de voltaje de 0,09449%; el YL-69 con un error absoluto de  $\pm 5$  centibares y un coeficiente de variación de voltaje de 0,09449% y 1,11166% en voltajes del sensor de radiación. El nodo sensor se encuentra alimentado con un cargador solar que posee una batería interna de 5V a 6000mA con una duración de 67,42 horas continuas.
- Para la comunicación mediante tecnología LoRa se obtuvo una distancia de transmisión y recepción de datos de hasta 320 m sin ninguna pérdida, por lo que el requerimiento de 100 m de cobertura se cumple sin ningún inconveniente garantizando el correcto funcionamiento del sistema electrónico.
- De las pruebas obtenidas en relación con el sistema de riego mecánico tradicional y el sistema electrónico implementado se determinó que el sistema electrónico reduce el tiempo de riego en un 34% con un tiempo de 26:46 min con un consumo de agua de 19.845 m<sup>3</sup> en relación con los 30.015 m<sup>3</sup> del sistema tradicional.



## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar las pruebas del nivel de humedad para los meses de julio a noviembre que comienza el invierno en la región costa ya que las pruebas realizadas se hicieron en verano.
- Para cubrir el área total del cultivo de cacao se debe implementar un mayor número de nodos sensor en el sistema electrónico para llegar a un control y monitoreo total.
- A futuro se recomienda añadir el uso de una red GMS para el monitoreo y control desde un dispositivo móvil, mediante el envío de mensajes y de los cambios bruscos de las variables climáticas que contiene el sistema electrónico.
- Se recomienda la posibilidad de realizar un control automático del encendido y apagado de la motobomba que necesita de una regulación manual del ralentí para modificar las revoluciones a las que va a trabajar el motor.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ACEBO, M.** "Estudios industriales orientación estratégica para la toma de decisiones industria de cacao" [en línea], 2016, Guayaquil-Ecuador. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones-de-espae/>.

**AGROCALIDAD /INTERCALIDAD. CIA LTDA.** Manual de aplicación de buenas practicas agrícolas en cacao [en línea], 2015, ECUADOR. [Consulta: 3 junio 2020]. Disponible en: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/inocuidad/manuales-aplicabilidad/manual-banano.pdf>.

**AMAZON.** Hunter Hydrawise HC-1201i [en línea], 2021. [Consulta: 24 febrero 2021]. Disponible en: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/12v-lora-data-capture-device-soil-moisture-sensor-wireless-1600053444600.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.3b9b7fc0mVs3cn](https://spanish.alibaba.com/product-detail/12v-lora-data-capture-device-soil-moisture-sensor-wireless-1600053444600.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.3b9b7fc0mVs3cn).

**ANECACAO.** "Revista Especializada en CACAO". *ANECACAO* [en línea], 2017, Ecuador 12va, pp. 44. [Consulta: 4 junio 2020]. Disponible en: [www.anecacao.com](http://www.anecacao.com).

**AQUASTAT FAO.** *Perfil de País-Ecuador* [en línea], 2015 ECUADOR. [Consulta: 30 mayo 2020]. Disponible en: [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications).

**ARDUINO.** *What is Arduino?* [Arduino], 2018. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.

**ARDUINO.** *Arduino Uno.* [Arduino], 2020. [Consulta: 9 diciembre 2020]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.

**ARDUINO.** *Software de Arduino.* [Arduino], 2020. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <https://arduino.cl/programacion/>.

**ARDUINO.** *Arduino - Libraries.* [Arduino], 2021. [Consulta: 6 enero 2021]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>.

**ARIAN.** *Pt100, su operación, instalación y tablas.* [ARIAN, Control & Instrumentación], 2015. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>.

**BETANCOURTH, Landneyker.** Sensor de humedad del suelo tipo sonda con sistema de monitoreo para aplicaciones en agricultura de precisión [en línea] (Trabajo de grado). Universidad de Los LLanos, Colombia, 2016. p. 35. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en:

<https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/1184/1/RUNILLANOS%20ELE%200373%20SENSOR%20DE%20HUMEDAD%20DEL%20SUELO%20TIPO%20SONDA%20CON%20SISTEMA%20DE%20MONITOREO%20PARA%20APLICACIONES%20EN%20AGRICULTURA%20DE%20PRECISIÓN%20.pdf>

**CANQUERI, Kim.** 2019,. Diseño de un sistema de riego por aspersión automatizado y controlado para el centro poblado de huitaca sencca [en línea]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú. 2019. p. 20. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11145/Canqueri\\_Chambi\\_Kim\\_Alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11145/Canqueri_Chambi_Kim_Alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**CANTUÑA, Katherine, & SATIÁN, Daniela.** Análisis de rendimiento de la tecnología educativa santo tomás apóstol riobamba [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2019. pp.75-80. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11026/1/98T00246.pdf>.

**CHULDE Q., Kleber. A.,** 2017,. Implementación de un sistema automatizado de riego por goteo parcial, a campo abierto en el centro experimental del riego de la facultad de recursos naturales [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2017. p.128. [Consulta: 4 junio 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7620/1/108T0209.pdf>.

**CONGOPE.** *Hablemos de riego* [en línea]. Ecuador: Primera Ed, 2014. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HRAGR.pdf>

**CONGOPE.** *Hablemos de riego con los agricultores* [en línea]. Ecuador: Segunda Ed, 2016. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>

**COPACONDORI QUISPE, Edwin Jhonatan.** Sistemas de Control de Temperatura [en línea]. Universidad Nacional de Educación. Lima - Perú, 2018. p.45. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/3577/MONOGRAFÍA%20-%20COPACO>

NDORI%20QUISPE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

**CORELDRAW.** *CorelDRAW Graphics Suite 2020* [en línea], 2021. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible en: [https://www.coreldraw.com/en/product/coreldraw/?segid=perp&topnav=false&trial=big&sourceid=cdgs2020-xx-ppc\\_brkws&x-vehicle=ppc\\_brkws&gclid=Cj0KCQiA9P\\_\\_BRC0ARIsAEZ6irh5mGq2bNrvEGBgGSXp2vn94M-4y6CO5hEaBN7kvdjydM-hkPobwL4aApq-EALw\\_wcB](https://www.coreldraw.com/en/product/coreldraw/?segid=perp&topnav=false&trial=big&sourceid=cdgs2020-xx-ppc_brkws&x-vehicle=ppc_brkws&gclid=Cj0KCQiA9P__BRC0ARIsAEZ6irh5mGq2bNrvEGBgGSXp2vn94M-4y6CO5hEaBN7kvdjydM-hkPobwL4aApq-EALw_wcB).

**DÍAZ SUÁREZ, Alvaro.** *Sistemas Embebidos en Red Seguros* [en línea]. Universidad de Cantabria. Cantabria - España. 2017. pp. 16-17. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=125731>

**DOSTERT, N., et al.** "Hoja botánica: Cacao" [en línea], 2011, Lima, Perú, pp.3-10. [Consulta: 14 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/321796507\\_Hoja\\_botanica\\_Cacao\\_-\\_Theobroma\\_cacao\\_L?channel=doi&linkId=5a323af40f7e9b2a2861449b&showFulltext=true](https://www.researchgate.net/publication/321796507_Hoja_botanica_Cacao_-_Theobroma_cacao_L?channel=doi&linkId=5a323af40f7e9b2a2861449b&showFulltext=true)

**ELECTRÓNICA/EMBAJADORES.** *Catalogo de robótica, sensores y arduino.* Electrónica Embajadores. [en línea] 2016. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: [www.electronicaembajadores.com](http://www.electronicaembajadores.com).

**ENCISO, J., et al.** *Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego* [en línea], 2016. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.euskobaratza.eus/src/uploads/2016/02/Enciso-et-al-2008.-Uso-de-sensores-de-humedad-para-optimizar-el-riego.pdf>.

**FERNÁNDEZ, R.** "Manual de riego para agricultores, Módulo 3: Riego por Aspersión" [en línea], 2010, Sevilla - España, pp. 8-10. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego\\_por\\_aspersixn.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf)

**FERRETRÓNICA.** *Relay 5VDC - Capacidad Max 250VAC / 30VDC - 10A.* [en línea], 2019. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://ferretronica.com/products/relay-5vdc-capacidad-max-250vac-30vdc-10a>.

**GEEK FACTORY.** *DS3231 el reloj en tiempo real de gran precisión para Arduino.* [Tutoriales Arduino], 2019. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en:

<https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/ds3231-el-reloj-en-tiempo-real-de-gran-precision-para-arduino/>.

**GONZÁLEZ, Henry, & CARRILLO, María.** Implementación de un prototipo de robot sembrador de papa en terrenos sin inclinación para pequeños productores [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2019. pp.14-16. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13686>

**GUAMÁ, Santiago, & VARGAS, Daniel.** Construcción de un módulo de medición de radiación solar [en línea]. Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador. 2020. p.5. [Consulta: 3 enero 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21110>

**GUZMÁN, Hugo.** *Cargador solar*. [Sabermas, Revista de Divulgación], 2018. [Consulta: 6 enero 2021]. Disponible en: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/85-numero-1149/173-cargador-solar.html>.

**HART, D.W.,** 2001., *Electronica de Potencia* [en línea]. Madrid: 2001, ISBN 84-25-3179-0. [Consulta: 22 febrero 2021].

**HERNÁNDEZ, Silvia.** Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico. [en línea]. Universitat Oberta de Catalunya. 2020. pp. 14-16. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>.

**HUAYLLA, L.,** 2019., "Sistemas de riego tecnificado". *Instituto de Capacitación del Oriente (ICO)*[en línea], 2019, (Bolivia), p. 26. [Consulta: 1 noviembre 2020]. Disponible en: <https://cupdf.com/document/sistemas-de-riego-tecnificado-el-instituto-de-6-sistemas-de-riego-tecnificado.html>

**HUNTER.** *ICV PÉRDIDA DE PRESIÓN EN kPa Electroválvula* [en línea], 2019. [Consulta: 14 diciembre 2020]

**INE.** INEbase / Ciencia y tecnología. [en línea], 2019. [Consulta: 13 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.ine.es/dyns/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica\\_P&cid=1254735976151](https://www.ine.es/dyns/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735976151).

**INIAP.** *Cultivos de Cacao*. [en línea], 2017. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en:

<http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcacao>.

**INIAP & ESPOL.** "La cadena de valor del cacao en américa latina y el caribe". *Plataforma multiagencia de cacao* [en línea], 2019, (Ecuador), p. 104. [Consulta: 3 junio 2020]. Disponible en: [www.espol.edu.ec](http://www.espol.edu.ec).

**INNOVA/CORFO.** Manejo de Agua en el suelo. Universidad de Talca, 2012, Chile. p.2. [Consulta: 16 noviembre 2020].

**LIBELIUM.** *Waspnote*. [en línea], 2018. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.libelium.com/iot-products/waspnote/>.

**LÓPEZ, R.** "Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el sur de chile". *Institutode Investigaciones Agropecuarias* [en línea], 2016, (Chile), p.71 [Consulta: 6 octubre 2020]. ISSN 0717-4829 Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40569.pdf>.

**LOZANO, Rafael.** *Sensor de humedad del suelo yl38 y yl69*. [Talos Electronics], 2018. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/sensor-de-humedad-del-suelo-yl38-y-yl69>.

**MALLORCA, Lotus.** *¿Qué presión se necesita para un riego por aspersión?* [Proyectos de jardines y riego], 2011. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.lotusmallorca.com/aplicaciones5.htm>.

**MARTIN, E.C.; & MUNOZ, C.** "Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?" *College of Agriculture, University of Arizona (Tucson, AZ)* [en línea], 2017. (Tucson), pp. 1-5. [Consulta: 4 junio 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10150/625275>.

**MAXIM INTEGRATED,** *DS3231 RTC/TCXO/Crystal Datasheet*. [en línea], 2015. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://datasheetspdf.com/pdf/1081920/MaximIntegrated/DS3231/1>.

**MERO LINO, E., et al.** "Sistema de comunicación inalámbrico con tecnología Mikrotik para la Terminal Terrestre del Cantón Jipijapa". [SINAPSIS], 2019, (Ecuador), pp. 2-9. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itsup.edu.ec/myjournal/index.php/sinapsis/article/view/191/199>.

**MOVILTRONICS.** *Sensor UV GY-ML8511 (Luz ultravioleta)*. [en línea], 2019. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <https://moviltronics.com/tienda/sensor-uv-gy-ml8511/>.

**NAYLAMP MECHATRONICS.** *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11*. [en línea], 2018. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>.

**NOVAGRIC.** *Electrovalvulas de Riego*. [en línea], 2017. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.novagric.com/es/electrovalvulas-de-riego>.

**ORTIZ, Michelle.** Desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología lora para el monitoreo de un sistema [en línea]. Universidad Politécnica Salesina sede Quito. 2020. pp.5-13. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18469>

**OSSA, S.** "Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos". *Vector* [en línea], 2017, (Colombia), p. 6. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vector/article/view/236/182>.

**PAREDES, Marjorie.** 2017,. Implementación de un prototipo de wsn con nodos inteligentes para el sistema de riego aplicado a la agricultura de precisión para el cer-esPOCH [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2017, pp.18-23. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7956/1/98T00173.pdf>

**PRO-ECUADOR,** *Ficha Técnica de Ecuador – 2020*. [en línea]. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.proecuador.gob.ec/ficha-tecnica-de-ecuador/>.

**QUINCHIA, Jorge, & HERREÑO, Diego.** Diseño y montaje de un sistema automático de control y supervisión de nivel de agua en los tanques que surten la red contra incendio del túnel fernando gómez martínez [en línea], 2017, Instituto Tecnológico Metropolitano, pp.19-21. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/147>

**QUINTERO R, M.L. & DÍAZ MORALES, K.M.** "El mercado mundial del cacao". *Agroalimentaria* [en línea], 2004, vol. 9, no. 18, pp. 3. [Consulta: 3 junio 2020]. ISSN 1316-0354. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-03542004000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542004000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**RUIZ CANALES, A. y MOLINA MARTÍNEZ, J.** *Automatización y telecontrol de sistemas de riego* [en línea], 2010. Primera ed. España: MARCOMBO, S.A. [Consulta: 4 junio 2020]. Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Kq4NiqtcIwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=sistemas+de+riego+&ots=wFO9IH-WL\\_&sig=i1U9p2-V6wsMs3Z9N9fFsCKMjvc#v=onepage&q=sistemas+de+riego&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Kq4NiqtcIwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=sistemas+de+riego+&ots=wFO9IH-WL_&sig=i1U9p2-V6wsMs3Z9N9fFsCKMjvc#v=onepage&q=sistemas+de+riego&f=true).

**SALAZAR, Cristian, & APUGLLÓN, Alex.** Diseño y construcción de elementos para optimizar un sistema de riego por aspersión en la quinta la delicia (San Juan, canton Riobamba)[en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2019, pp. 14-116. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13626/1/85T00564.pdf>.

**SEMTECH.** *Wireless & Sensing Products SX1276/77/78/79*. [Salesforce], 2015. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: [https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JeIG/a/2R0000001Rc1/QnUuV9TViODKUgt\\_rpBIPz.EZA\\_PNK7Rpi8HA5..Sbo](https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JeIG/a/2R0000001Rc1/QnUuV9TViODKUgt_rpBIPz.EZA_PNK7Rpi8HA5..Sbo).

**SEMTECH.** *Semtech SX1278*. [Products Wireless RF], 2018. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1278>.

**SMI.** *AMT300\* Medidor de humedad Agrícola 4 en AMTAST MEXICO*. [en línea]. 2020. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <https://solucionesenmedicionindustrial.com/amt300-medidor-de-humedad-agricola-4-en-amtast-mexico.html>.

**SRC.** *Tipos de sensores de temperatura y sus diferencias*. [en línea], 2019. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>.

**TALLA, David.** Diseño e implementación de un sistema electrónico para el monitoreo local y remoto del índice uv, destinado al cantón guano [en línea]. Escuela Superior Pde Chimborazo, riobamba - Ecuador, 2019, p. 119. [Consulta: 4 junio 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13663/1/108T0306.PDF>.



**TORRES, Luis.** Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico [en línea]. Universidad de Cuenca. Cuenca - Ecuador, 2012, pp.19-23. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf>  
**UNIT ELECTRONICS.** *Sensor De Nivel Flotador Vertical*. [en línea], 2021. [Consulta: 8 febrero 2021]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-nivel-flotador-vertical/>.

**VALENCIA, L., et al.,** "Seguridad de la Información en WSN aplicada a Redes de Medición Inteligentes basado en técnicas de criptografía". *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação* [en línea],2019, (Ecuador) pp. 7-8. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/5720c78f2e17a2735a48f2ca5015a08f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>

**VELA, A.** "Study of Precision Agriculture with a Focus on Implementing a Wireless Sensor Network (WSN) for Humidity and Temperature Monitoring in Crops-Case Study Cabalinus Farm Located in Los Rios Province". *Revista Politécnica-Abril* [en línea], 2016, (Ecuador) vol. 38, no. 1, pp. 1-2. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/74484765-Vela-andres-1-palabras-clave-redes-de-sensores-inalambricos-wsn-agricultura-de-precision-infraestructura.html>

**VERGARA, Jhoann.** 2019,. Diseño e implementación de un sistema automático de monitoreo en tiempo real de variables climáticas para un cultivo de hortalizas [en línea]. Universidad militar Nueva Granada, Colombia, 2019, p.43. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/21067>

**YEPES PIQUERAS, Víctor.** *Bomba Centrífuga*. [Universitat Politècnica de Valencia], 2016. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/bomba-centrifuga/>.

# ANEXOS

## Anexo 1: Hojas técnicas de los elementos que componen el sistema electrónico.



RobotShop [www.robotshop.com](http://www.robotshop.com)  
La robotique à votre service! - Robotics at your service!

ARDUINO

### Arduino Mega 2560 Datasheet




RobotShop [www.robotshop.com](http://www.robotshop.com)  
La robotique à votre service! - Robotics at your service!




### Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

### Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#)



RobotShop [www.robotshop.com](http://www.robotshop.com)  
La robotique à votre service! - Robotics at your service!

Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

### Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz


### Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.



RobotShop [www.robotshop.com](http://www.robotshop.com)  
La robotique à votre service! - Robotics at your service!

The power pins are as follows:

- VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- 5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- 3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- GND.** Ground pins.

### Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

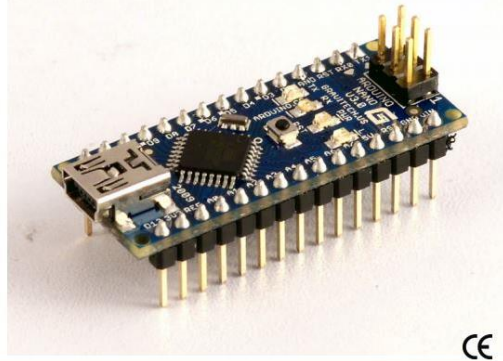
### Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega 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); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- External Interrupts: 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 5), 19 (Interrupt 4), 20 (Interrupt 3) and 21 (Interrupt 2).** 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: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
- LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH



# Arduino Nano



## Product Overview

The Arduino Nano is a small, complete, and breadboard-friendly board based on the ATmega328 (Arduino Nano 3.0) or ATmega168 (Arduino Nano 2.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. The Nano was designed and is being produced by Gravitech.

## Index

### Technical Specifications

Page 2

### How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

### Terms & Conditions

Page 7



radiospares RADIONICS



# Technical Specification



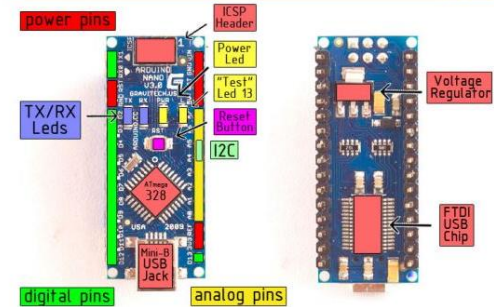
Arduino Nano 3.0 (ATmega328): [schematic](#), [Eagle files](#).

Arduino Nano 2.3 (ATmega168): [manual \(pdf\)](#), [Eagle files](#). Note: since the free version of Eagle does not handle more than 2 layers, and this version of the Nano is 4 layers, it is published here unrouted, so users can open and use it in the free version of Eagle.

## Summary

Microcontroller	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 Mhz
Dimensions	0.73" x 1.70"

## the board



radiospares RADIONICS



## 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.

The FTDI FT232RL chip on the Nano is only powered if the board is being powered over USB. As a result, when running on external (non-USB) power, the 3.3V output (which is supplied by the FTDI chip) is not available and the RX and TX LEDs will flicker if digital pins 0 or 1 are high.

## Memory

The ATmega168 has 16 KB of flash memory for storing code (of which 2 KB is used for the bootloader); the ATmega328 has 32 KB, (also with 2 KB used for the bootloader). The ATmega168 has 1 KB of SRAM and 512 bytes of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)); 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. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (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.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega168 ports](#).



radiospares RADIONICS



## Communication

The Arduino Nano has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega168 and ATmega328 provide 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 ATmega168 and ATmega328 also support I<sup>2</sup>C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I<sup>2</sup>C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega168 or ATmega328 datasheet.

## Programming

The Arduino Nano can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Diecimila, Duemilanove, or Nano w/ ATmega168" or "Arduino Duemilanove or Nano w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega168 or 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 ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

## 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 ATmega168 or 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.



radiospares RADIONICS





**SX1276/77/78/79**

**SEMTECH**  
WIRELESS & SENSING PRODUCTS DATASHEET

**SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver**

**GENERAL DESCRIPTION**

The SX1276/77/78/79 transceivers feature the LoRa® long range modem that provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity whilst minimising current consumption.

Using Semtech's patented LoRa modulation technique SX1276/77/78/79 can achieve a sensitivity of over -148dBm using a low cost crystal and bill of materials. The high sensitivity combined with the integrated +20 dBm power amplifier yields industry leading link budget making it optimal for any application requiring range or robustness. LoRa provides significant advantages in both blocking and selectivity over conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between range, interference immunity and energy consumption.

These devices also support high performance (G)FSK modes for systems including WMBus, IEEE802.15.4g. The SX1276/77/78/79 deliver exceptional phase noise, selectivity, receiver linearity and IP3 for significantly lower current consumption than competing devices.

**ORDERING INFORMATION**

Part Number	Delivery	MOQ / Multiple
SX1276MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1277MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1278MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1279MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1276WS <sup>1</sup>	Wafer Form	1 Wafer (2000 dies)

1. For Wafer deliveries, refer to the corresponding "Wafer Delivery Specification"

- QFN 28 Package - Operating Range [-40;+85°C]
- Pb-free, Halogen free, RoHS/WEEE compliant product

**KEY PRODUCT FEATURES**

- LoRa® Modem
- 168 dB maximum link budget
- +20 dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- +14 dBm high efficiency PA
- Programmable bit rate up to 300 kbps
- High sensitivity: down to -148 dBm
- Bullet-proof front end: IIP3 = -11 dBm
- Excellent blocking immunity
- Low RX current of 9.9 mA, 200 nA register retention
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa® and OOK modulation
- Built-in bit synchronizer for clock recovery
- Preamble detection
- 127 dB Dynamic Range RSSI
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- Packet engine up to 256 bytes with CRC
- Built-in temperature sensor and low battery indicator

**APPLICATIONS**

- Automated Meter Reading.
- Home and Building Automation.
- Wireless Alarm and Security Systems.
- Industrial Monitoring and Control
- Long range Irrigation Systems

Rev. 7 - May 2020  
©2020 Semtech Corporation Page 1 [www.semtech.com](http://www.semtech.com)

**SX1276/77/78/79**

**SEMTECH**  
WIRELESS & SENSING PRODUCTS DATASHEET

**1.2. Product Versions**

The features of the four product variants are detailed in the following table.

Table 1 SX1276/77/78/79 Device Variants and Key Parameters

Part Number	Frequency Range	Spreading Factor	Bandwidth	Effective Bitrate	Est. Sensitivity
SX1276	137 - 1020 MHz	6 - 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm
SX1277	137 - 1020 MHz	6 - 9	7.8 - 500 kHz	0.11 - 37.5 kbps	-111 to -139 dBm
SX1278	137 - 525 MHz	6- 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm
SX1279	137 - 960MHz	6- 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm

**1.3. Pin Diagram**

The following diagram shows the pin arrangement of the QFN package, top view.

Figure 2. Pin Diagrams

Rev. 7 - May 2020  
©2020 Semtech Corporation Page 10 [www.semtech.com](http://www.semtech.com)

**SX1276/77/78/79**

**SEMTECH**  
WIRELESS & SENSING PRODUCTS DATASHEET

**2.5. Chip Specification**

The tables below give the electrical specifications of the transceiver under the following conditions: Supply voltage VDD=3.3 V, temperature = 25 °C, FXOSC = 32 MHz, Fsp = 169/434/868/915 MHz (see specific indications), Pout = +13dBm, 2-level FSK modulation without pre-filtering, FDA = 5 kHz, Bit Rate = 4.8 kbit/s and terminated in a matched 50 Ohm impedance, shared Rx and Tx path matching, unless otherwise specified.

Note Specification whose symbol is appended with "LF" corresponds to the performance in Band 2 and/or Band 3, as described in section 3.3.3. "HF" refers to the upper Band 1

**2.5.1. Power Consumption**

Table 6 Power Consumption Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDSL	Supply current in Sleep mode		-	0.2	1	uA
IDDILE	Supply current in Idle mode	RC oscillator enabled	-	1.5	-	uA
IDDST	Supply current in Standby mode	Crystal oscillator enabled	-	1.6	1.8	uA
IDDFS	Supply current in Synthesizer mode	FSRx	-	5.8	-	mA
IDDR	Supply current in Receive mode	LnaBoost Off, band 1 LnaBoost On, band 1 Bands 2&3	-	10.8 11.5 12.0	-	mA
IDDT	Supply current in Transmit mode with impedance matching	RFOP = +20 dBm, on PA_BOOST RFOP = +17 dBm, on PA_BOOST RFOP = +13 dBm, on RFO_LF/HF pin RFOP = +7 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	120 87 29 20	-	mA

**2.5.2. Frequency Synthesis**

Table 7 Frequency Synthesizer Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
FR	Synthesizer frequency range	Programmable Band 3 Band 2 Band 1 (*for SX1279)	137 410 862 (779)	- - -	175 (*160) 525 (*480) 1020 (*960)	MHz
FXOSC	Crystal oscillator frequency		-	32	-	MHz
TS_OSC	Crystal oscillator wake-up time		-	250	-	us
TS_FS	Frequency synthesizer wake-up time to FLLock signal	From Standby mode	-	60	-	us

Rev. 7 - May 2020  
©2020 Semtech Corporation Page 14 [www.semtech.com](http://www.semtech.com)

**SX1276/77/78/79**

**SEMTECH**  
WIRELESS & SENSING PRODUCTS DATASHEET

TS_HOP	Frequency synthesizer hop time at most 10 kHz away from the target frequency	200 kHz step	-	20	-	us
		1 MHz step	-	20	-	us
		5 kHz step	-	50	-	us
		7 MHz step	-	50	-	us
		12 MHz step	-	50	-	us
FSTEP	Frequency synthesizer step	20 MHz step	-	50	-	us
		25 MHz step	-	50	-	us
		61.0	-	61.0	-	Hz
FRC	RC Oscillator frequency	After calibration	-	62.5	-	kHz
BRF	Bit rate, FSK	Programmable values (1)	1.2	-	300	kbps
BRA	Bit rate Accuracy, FSK	ABS(wanted BR - available BR)	-	-	250	ppm
BRO	Bit rate, OOK	Programmable	1.2	-	32,768	kbps
BR_L	Bit rate, LoRa Mode	From SF6, BW=500kHz to SF12, BW=7.8kHz	0.018	-	37.5	kbps
FDA	Frequency deviation, FSK (1)	Programmable FDA + BR/2 = <= 250 kHz	0.6	-	200	kHz

Note: For Maximum Bit rate, the maximum modulation index is 0.5.

Rev. 7 - May 2020  
©2020 Semtech Corporation Page 15 [www.semtech.com](http://www.semtech.com)

## Digital-output relative humidity & temperature sensor/module – DHT11



Resistive-type humidity and temperature module/sensor

### 1. Feature & Application:

- \* Full range temperature compensated
- \* Relative humidity and temperature measurement
- \* Calibrated digital signal
- \* Outstanding long-term stability
- \* Extra components not needed
- \* Long transmission distance
- \* Low power consumption
- \* 4 pins packaged and fully interchangeable

### 2. Description:

DHT11 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

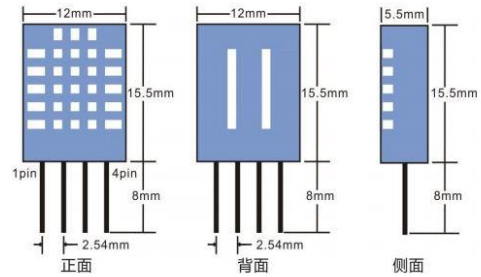
Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in OTP memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT11 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

### 3. Technical Specification:

Model	DHT11	
Power supply	3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer resistor	
Measuring range	humidity 20-90%RH; temperature 0-50 Celsius	
Accuracy	humidity $\pm 4\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH); temperature $\pm 2.0$ Celsius	
Resolution or sensitivity	humidity 1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity $\pm 1\%$ RH;	temperature $\pm 1$ Celsius
Humidity hysteresis	$\pm 1\%$ RH	
Long-term Stability	$\pm 0.5\%$ RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	size 12*15.5*5.5mm	

### 4. Dimensions: (unit---mm)

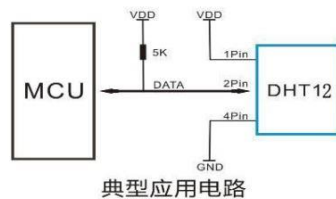


Front view

Back view

Side view

### 5. Typical application



3Pin=NULL, MCU=Microcomputer or single-chip computer

### 6. Operating specifications:

#### (1) Power and Pins

Power's voltage should be 3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

#### (2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT11.

### 7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3	5	5.5	V
Current supply	Measuring	0.5		2.5	mA
	Stand-by	100	Null	150	uA
	Average	0.2	Null	1	mA

# ML8511

UV Sensor with Voltage Output

## GENERAL DESCRIPTION

The ML8511 is a UV sensor, which is suitable for acquiring UV intensity indoors or outdoors. The ML8511 is equipped with an internal amplifier, which converts photo-current to voltage depending on the UV intensity. This unique feature offers an easy interface to external circuits such as ADC. In the power down mode, typical standby current is 0.1μA, thus enabling a longer battery life.

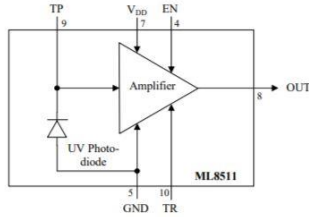
## FEATURES

- Photodiode sensitive to UV-A and UV-B
- Embedded operational amplifier
- Analog voltage output
- Low supply current (300μA typ.) and low standby current (0.1μA typ.)
- Small and thin surface mount package (4.0mm x 3.7mm x 0.73mm, 12-pin ceramic QFN)

## APPLICATIONS

- Smart phone, Watch, Weather station, Bicycle navigation, Accessory, Gaming

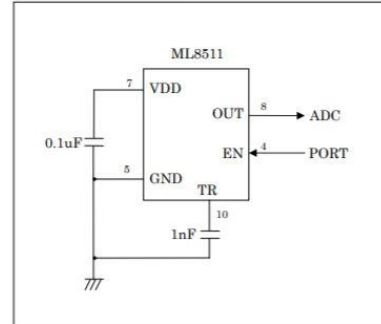
## BLOCK DIAGRAM



## PIN CONFIGURATIONS

Pin	Symbol	I/O	Function
7	VDD	PW	Supply voltage. Decouple this pin to ground with 0.1 μF capacitor.
5	GND	PW	Ground
4	EN	I	Active high enable pin. (High: Active mode, Low: Standby mode)
8	OUT	O	Output (Low in power down or standby mode)
9	TP	I/O	Test pin. Do not connect.
10	TR	I/O	Internal reference voltage. Decouple this pin to ground with 1 nF capacitor.
1,2,3, 6, 11, 12	NC	-	No Connection. Do not connect.

## EXAMPLE OF CONNCTING DIAGRAM



\* Load resistance of OUT port is recommended more than 100 kΩ.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Parameter	Symbol	Condition	Rating	unit
Supply Voltage	$V_{DD}$	$T_a=25^\circ\text{C}$	-0.3 to +4.6	V
Input Voltage	$V_i$	$T_a=25^\circ\text{C}$	-0.3 to +4.6	V
Output Short Current	$I_{SS}$	$T_a=25^\circ\text{C}$	5	mA
Power Dissipation	$P_D$	$T_a=25^\circ\text{C}$	30	mW
Storage Temperature	$T_{stg}$	-	-30 to +85	$^\circ\text{C}$

## RECOMENDED OPERATION CONDITIONS

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	unit
Operating Voltage	$V_{DD}$	2.7	3.3	3.6	V
Operating Temperature	$T_a$	-20	-	70	$^\circ\text{C}$

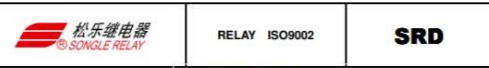
## ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS

( $V_{DD}=2.7\text{V to }3.6\text{V}$ ,  $T_a=-20^\circ\text{C to }+70^\circ\text{C}$ )

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	unit
Supply Current (active mode)	$I_{DDA}$	$V_{EN}=V_{DD}$	-	300	500	μA
Supply Current (standby mode)	$I_{DDB}$	$V_{EN}=0$	-	0.1	1	μA
Input Voltage (High level)	$V_{IH}$	-	$V_{DD} \times 0.8$	-	$V_{DD} + 0.3$	V
Input Voltage (Low level)	$V_{IL}$	-	-0.2	-	0.72	V
High level input current	$I_{IH}$	$V_{EN}=V_{DD}$	-	-	1	μA
Low level input current	$I_{IL}$	$V_{EN}=0$	-1	-	-	μA
Wavelength of maximum sensitivity	$\lambda_p$	$T_a=25^\circ\text{C}$	-	365	-	nm
Output Setup Time	$T_{SU}$	$V_{EN}=V_{DD}$	-	-	1	ms
Output Voltage (Shading) *	$V_{REF}$	$T_a=25^\circ\text{C}$ , $V_{EN}=V_{DD}$	0.95	1.0	1.05	V
Output Voltage (10mW/cm <sup>2</sup> at $\lambda_p$ ) *	$V_O$	$T_a=25^\circ\text{C}$ , $V_{EN}=V_{DD}$	2.08	2.2	2.32	V

\* Load resistance of OUT port is recommended more than 100 kΩ.

# SONGLE RELAY



## 1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

## 2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.  
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

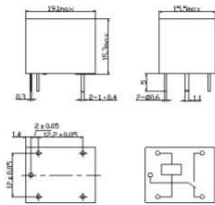
## 3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03, 05, 06, 09, 12, 24, 48VDC	S-Sealed type F-Flux free type	L-0.36W D-0.45W	A-1 form A B-1 form B C-1 form C

## 4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL/CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

## 5. DIMENSION (unit:mm) DRILLING (unit:mm) WIRING DIAGRAM



## 6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) ±10%	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
SRD (Standard)	24	24	15	1600				
	48	48	7.5	6400	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	03	03	150	20				
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

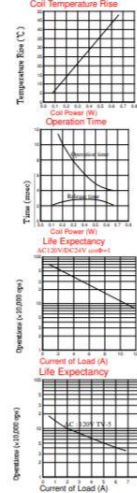
## 7. CONTACT RATING

Item	Type	
	FORM C	FORM A
Contact Capacity	7A 28VDC 10A 125VAC	10A 28VDC 10A 240VAC
Resistive Load (cosφ=1)	7A 240VAC	10A 240VAC
Inductive Load (cosφ=0.4 L.R.=7msec)	3A 120VAC 3A 28VDC	5A 120VAC 5A 28VDC
Max. Allowable Voltage	250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force	800VAC/240W AgCdO	1200VA/300W AgCdO

## 8. PERFORMANCE (at initial value)

Item	Type	SRD
Contact Resistance		100mΩ Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength	Between coil & contact	1500VAC 50/60HZ (1 minute)
	Between contacts	1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 MΩ Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching		300 operation/min
Electrically		30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Endurance		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Error Operation		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock	Endurance	100G Min.
	Error Operation	10G Min.
Life Expectancy		10 <sup>7</sup> operations. Min. (no load)
Mechanically		10 <sup>7</sup> operations. Min. (at rated coil voltage)
Electrically		abt. 10grs.
Weight		

## 9. REFERENCE DATA



# ICV

Esta válvula es la elección perfecta para sistemas de alta presión y condiciones de aguas sucias.

## VENTAJAS PRINCIPALES

- El filtro opcional Filter Sentry™ hace un barrido de la malla del filtro en condiciones de aguas sucias.
- El purgado manual externo e interno permite una apertura rápida y sencilla de la válvula.
- La fabricación con nylón relleno de fibra de vidrio proporciona la máxima presión nominal y fiabilidad.
- El diseño de doble rebornado de la junta de membrana garantiza un funcionamiento sin fugas.
- La membrana de EPDM, reforzado con tejido, y el asiento garantizan un mejor rendimiento en todas las condiciones de agua.
- Los tornillos carnosos de la tapa eliminan la posibilidad de perder piezas durante el desmontaje.
- Los tornillos de la tapa se pueden manejar con herramientas desmontador de punta plana o de estrella y llave de vaso.
- El solenoide encapsulado con nitrógeno cauto que se utiliza en las válvulas Hunter facilita un mantenimiento sin complicaciones.
- El control del caudal maximiza la eficiencia y prolonga la vida útil del sistema.

## OPCIONES INSTALADAS POR EL USUARIO

- Regulador de presión Accu-Sync™ en la válvula\*
- Solenoide tipo latch de CC para programadores alimentados por pilas (Ref. 455200)
- Filtro Sentry se añade fácilmente a una válvula instalada
- Tapa de conductos del solenoide (Ref. 464322)

## OPCIONES INSTALADAS DE FÁBRICA

- LS: solenoide sin válvula
- DC: solenoide tipo latch de CC para programadores alimentados por pilas
- FS: Filter Sentry
- PS-R: Opción para agua reciclada con Filter Sentry, maneta morada de control y membrana morada resistente al cloro

## ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

- Caudal:
  - ICV-101G: 0,03 a 9 m<sup>3</sup>/h; 0,4 a 150 l/min
  - ICV-151G: 0,03 a 34 m<sup>3</sup>/h; 0,4 a 566 l/min
  - ICV-201G: 0,03 a 45 m<sup>3</sup>/h; 0,4 a 757 l/min
  - ICV-301: 0,03 a 68 m<sup>3</sup>/h; 0,4 a 135 l/min
- Intervalo de presión recomendada: de 1,5 a 15 bares; 150 a 1500 kPa
- Temperatura nominal: 66 °C
- Periodo de garantía: 5 años

## ESPECIFICACIONES DEL SOLENOIDE

- solenoide de 24 V CA
- 250 mA arranque, 90 mA mantenimiento, 50 Hz
- 370 mA arranque, 210 mA mantenimiento, 50 Hz

\* Información del producto Accu-Sync en la página 94



**ICV-101G**  
Diámetro de entrada: 1" (25 mm)  
Altura: 14 cm  
Longitud: 12 cm  
Anchura: 10 cm



**ICV-151G**  
Diámetro de entrada: 1 1/2" (40 mm)  
Altura: 18 cm  
Longitud: 17 cm  
Anchura: 14 cm



**ICV-201G**  
Diámetro de entrada: 2" (50 mm)  
Altura: 18 cm  
Longitud: 17 cm  
Anchura: 14 cm



**ICV-301**  
Diámetro de entrada: 2 1/2" (63 mm)  
Altura: 27 cm  
Longitud: 22 cm  
Anchura: 19 cm



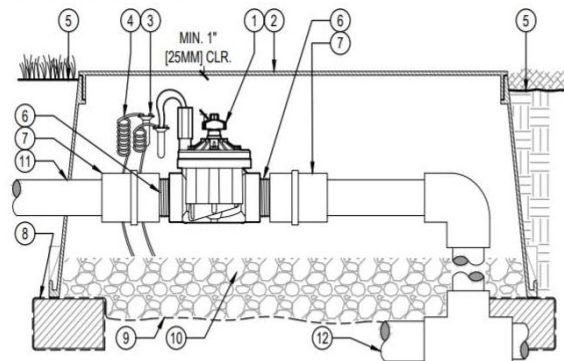
**ICV-R**  
Diámetro de entrada: 25 mm (1")  
Altura: 18 cm  
Longitud: 17 cm  
Anchura: 14 cm



**Filter Sentry™**  
Membrana con doble rebornado

# LEGEND

- HUNTER REMOTE CONTROL VALVE (ICV) WITH FLOW CONTROL
- IRRIGATION VALVE BOX: HEAT STAMP LID WITH 'RCV' IN 2" LETTERS
- WATERPROOF CONNECTORS (2)
- 18"-24" COILED WIRE TO CONTROLLER (TURF OR MULCH)
- FINISH GRADE AT ADJACENT SURFACE
- SCH. 80 CLOSE NIPPLE, SIZE PER RCV
- PVC SLIP X FPT ADAPTOR
- BRICK SUPPORTS (4)
- FILTER FABRIC - WRAP TWICE AROUND BRICK SUPPORTS
- 3/4" WASHED GRAVEL - 4" MIN. DEPTH
- IRRIGATION LATERAL
- MAINLINE AND FITTINGS



# XX IN-LINE VALVE (ICV-201)

**Hunter** V.ICV.09

NO SCALE

## Anexo 2: Código de comunicación para los dispositivos transmisores.

```
Sensor_NODO_1$
#include <LowPower.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
|
int h=0;
int t=0;
float r=0;
const float sensorPin=A6;
int UVOUT = A5; //Output from the sensor
int REF_3V3 = A4; //3.3V power on the Arduino board
int led=3;
int contador=0;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Leyendo Datos...!!");
  dht.begin();
  pinMode(UVOUT, INPUT);
  pinMode(REF_3V3, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  while(!Serial);
}

Serial.println("LoRa Sender");
if (!LoRa.begin(433E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1);
}
//LoRa.setSpreadingFactor(12); //maximo alcance posible de
// LoRa.setTxPower(14,PA_OUTPUT_RF0_PIN); //para cambiar l
}
void loop() {
  //for (int i = 0 ; i < 16 ; i++){
  LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
  //Ingresa al estado de apagado durante 8s con el modulo ADC
  //LowPower.powerDown(15, ADC_OFF, BOD_OFF);
  Temperatura();
  Humedad();
  Radiacion();
  //Enviando Paquete
  LoRa.beginPacket();
  digitalWrite(led, HIGH);
  LoRa.print(t);
  LoRa.print(",");
  LoRa.print(h);
  LoRa.print(",");
  LoRa.println(r);
  LoRa.print(",");
  LoRa.print("1");
  LoRa.endPacket();
  digitalWrite(led, LOW);
}
```

## Anexo 3: Código de comunicación para dispositivo receptor.

```
Prueba8Nodo_Control_con_hora
//Retorno de datos desde lora
int packetSize = LoRa.parsePacket();
if (packetSize) {
  Serial.println("Recibiendo paquetes de humedad, temperatu

// read packet
while (LoRa.available() > 0) {
  //Serial.print((char)LoRa.read());
  inChar = LoRa.read();
  inString += (char)inChar;
  //Conversion de datos de string a float
  tem0 = s.separa(inString, ',', 0);
  hum0 = s.separa(inString, ',', 1);
  rad0 = s.separa(inString, ',', 2);
  paq0 = s.separa(inString, ',', 3);
  //t1 = tem0.toInt();
  //h1 = hum0.toFloat();
  //r1 = rad0.toFloat();
}
Serial.print(inString);
LoRa.packetRssi();
// print RSSI of packet
Serial.print("RSSI");
Serial.println(LoRa.packetRssi());
if (paq0 == "1") {
  t1 = tem0.toInt();
  h1 = hum0.toFloat();
  r1 = rad0.toFloat();
  Serial.println("NODO A:");
}
```

```
Prueba8Nodo_Control_con_hora
if (!SD.begin(4)) {
  Serial.println("No se pudo inicializar");
  return;
}
Serial.println("inicializacion exitosa");

//myRTC.setDS1302Time(00, 28, 17, 5, 5, 2, 2021);

while (!Serial);
LoRa.setPins(53, 2, 6);
Serial.println("LoRa Receiver");

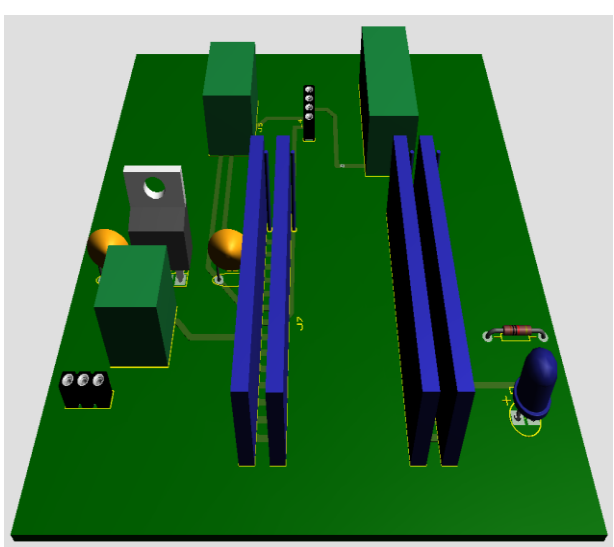
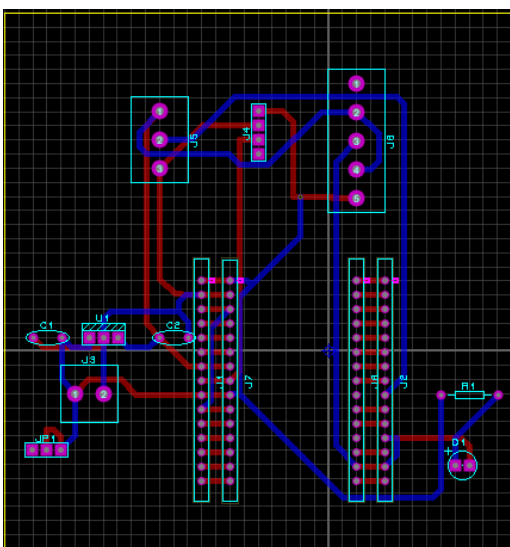
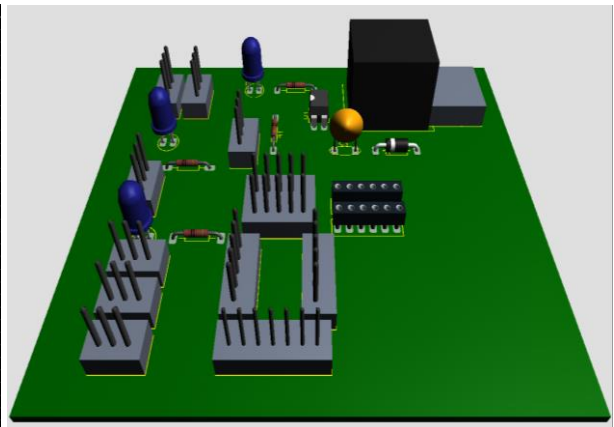
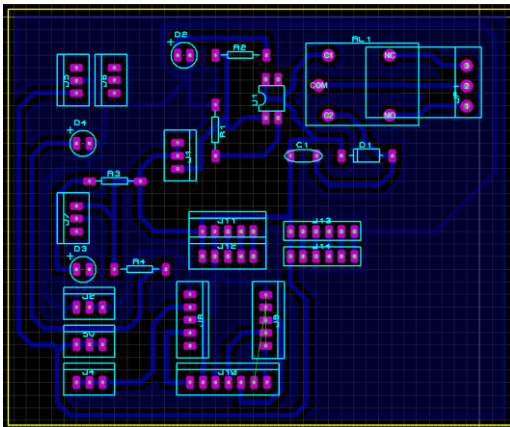
if (!LoRa.begin(433E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1);
}
}
```



Prueba8Nodo\_Control\_con\_hora

```
Serial.println("NODO A:");  
Serial.print("Temperatura:");  
Serial.print(t1);  
Serial.println("°C");  
Serial.print("Humedad:");  
Serial.print(h1);  
Serial.println("%");  
Serial.print("Radiación:");  
Serial.print(r1);  
Serial.println(" (mW/cm^2) ");  
inString = " ";  
}  
  
if (paq0 == "2") {  
t2 = tem0.toInt();  
h2 = hum0.toFloat();  
r2 = rad0.toFloat();  
Serial.println("NODO B:");  
Serial.print("Temperatura:");  
Serial.print(t2);  
Serial.println("°C");  
Serial.print("Humedad:");  
Serial.print(h2);  
Serial.println("%");  
Serial.print("Radiación:");  
Serial.print(r2);  
Serial.println(" (mW/cm^2) ");  
inString = " ";  
}
```

#### Anexo 4: Diseño de placas PCB para los nodos creados.





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 30 / 08 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Kerly Esthefanny Sánchez Cajas</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Informática y Electrónica</i>
<b>Carrera:</b> <i>Electrónica y Automatización</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniera en Electrónica y Automatización</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**

Firmado digitalmente por  
LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, o=REDABRA,  
ou=LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS,  
fecha: 2021.08.30 19:05:58  
+05'00'



1338-DBRA-UTP-2021