



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE FERTIRRIGACIÓN POR GOTEO PARA
HUERTOS URBANOS**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Agricultura de precisión

AUTOR:

Itumi Kiruna Cachiguango Vásquez

Director:

PhD. David Alberto Ojeda Peña

Asesor:

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

Ibarra, enero de 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005337967		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Itumi Kiruna Cachiguango Vásquez		
DIRECCIÓN:	Camino del Sol y Cacique Otavalo S/N		
EMAIL:	itumic73@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	N/A	TELÉFONO MÓVIL:	0980928698

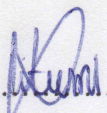
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Sistema automático de fertirrigación por goteo para huertos urbanos
AUTOR (ES):	Itumi Kiruna Cachiguango Vásquez
FECHA: DD/MM/AAAA	28/01/2025
PROGRAMA:	☒ GRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. David Alberto Ojeda Peña

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los veintiocho días del mes de enero de 2025

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Itumi Kiruna Cachiguango Vásquez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 23 de enero de 2025

PhD. David Alberto Ojeda Peña

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

PhD. David Alberto Ojeda Peña

C.C.: 1757898489



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "SISTEMA AUTOMÁTICO DE FERTIRRIGACIÓN POR GOTEO PARA HUERTOS URBANOS" elaborado por ITUMI KIRUNA CACHIGUANGO VÁSQUEZ, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f).....

PhD. David Alberto Ojeda Peña

C.C.: 1757898489

(f).....

MSc. Cosme Damián Echeverría Mejía

C.C.: 1002641288

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a todos aquellos que tienen un sueño, una meta, un propósito planteado. El camino es duro, se tropieza, hay días donde todo sale bien o mal, pese a eso no hay que rendirse hay que ser tercos para conseguir eso que aspiras.

Cuando logras algo con tanto esfuerzo, no hay mejor satisfacción, más cuando eso hace feliz a quienes te hacen feliz, no tiene precio.

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a mis profesores que estuvieron presentes durante la elaboración de este trabajo. Gracias inges por la guía, el tiempo y la paciencia que me brindaron. Perdón por las molestias durante las reuniones, los errores como tesista y alumno.

Gracias a mis papás por confiar en mí. Por el cariño y apoyo día tras día, pese a no ser el mejor hijo, gracias por haber estado allí, en las buenas y las malas. Mami me viste noches sentado, frustrado y cansado, siempre con la fé de que llegue este día.

Gracias a mis hermanos, Shyri y Maiya. Gracias por haberme ayudado durante este mi último proceso, charlas, consejos, estar al pendiente de que logre terminar lo que empecé, todo el esfuerzo al fin da frutos. No soy muy expresivo, pero en el fondo los quiero mucho.

Gracias al ING. Caspi, ñaño nos conocimos en el prepo y empezamos la carrera juntos, pero me fui quedando atrás. Incluso ya después de que te graduaste me "jodias" que termine la tesis. En los momentos que tuve bajones y pensaba en dejar la carrera, me dijiste que siga, que tenga un motivo. Gracias por ser mi pana hasta ahora.

Gracias a mis amigos dentro de la U, sobre todo quienes estuvieron en 8vo, el último semestre se disfrutó lo poco o mucho de este proceso llamado universidad. Por fuera de la U, a todos los que estuvieron involucrados de una u otra manera para que esto suceda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
CONSTANCIAS.....	III
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	IV
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT.....	XVI
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivos General	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	1
1.3. Justificación	2
1.4. Alcance	2
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Fundamentos teóricos	3
2.2.1. Huerto	4
2.2.2. Sistema de riego.....	5

2.2.3.	Diseño hidráulico	7
2.2.4.	Fertiirrigación	8
2.2.5.	Programadores comerciales	9
2.2.6.	Compostaje	10
2.2.7.	Té de compost	11
2.2.8.	Método de la solución nutritiva óptima	11
3.	CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	13
3.1.	Modelo de investigación	13
3.1.1.	Metodología de desarrollo	13
3.2.	Diseño de investigación	13
3.2.1.	Fase 1: Análisis de requerimientos	13
3.2.2.	Fase 2: Diseño agronómico.....	14
3.2.3.	Fase 3: Diseño hidráulico.....	14
3.2.4.	Fase 4: Diseño del programador	14
3.2.5.	Fase 5: Construcción y ensamble.....	15
3.2.6.	Fase 6: Verificación	15
3.2.7.	Fase 7: Validación.....	16
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1.	Descripción general	17
4.2.	Especificaciones del sistema a diseñar	18
4.3.	Solución propuesta para el sistema de fertiirrigación	18
4.4.	Diseño agronómico	19
4.4.1.	Selección de cultivos.....	20
4.4.2.	Distribución de parcela	20
4.4.3.	Evapotranspiración	21

4.4.4. Requerimientos hídricos	22
4.5. Solución nutritiva.....	22
4.6. Diseño hidráulico	23
4.6.1. Cintillas	24
4.6.2. Pérdidas de carga	24
4.7. Diseño del programador.....	26
4.7.1. Interfaz gráfica	28
4.7.2. Carcasa del del programador	28
4.8. Selección de componentes	29
4.8.1. Electroválvula	29
4.8.2. Microcontrolador	29
4.8.3. Pantalla.....	30
4.8.4. Sensor de humedad	30
4.8.5. Regulador de voltaje	30
4.9. Construcción y ensamblaje	31
4.9.1. Programador.....	31
4.9.2. Sistema de tuberías	33
4.10. Pruebas de funcionamiento	37
4.10.1. Pruebas del programador	38
4.10.2. Pruebas del sistema de tuberías.....	45
4.10.3. Pruebas generales.....	47
4.11. Validación con un cultivo de ciclo corto	47
4.11.1. Riego	49
4.11.2. Fertilización	50
4.11.3. Crecimiento de cultivo.....	51

4.11.4. Rendimiento	55
4.12. Presupuesto	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS	65
Anexo A: Análisis de suelo.....	65
Anexo B: Código de programación	66
Anexo C: Manual de usuario	70
Anexo D: Planos	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ecuaciones para requerimientos hídricos.....	7
Tabla 2. Datos relevantes de programadores de riego comerciales [22], [23].....	9
Tabla 3. Programadores de fertirriego [24], [25]	10
Tabla 4. Aporte del compost [27]	10
Tabla 5. Valores de referencia para relaciones N/K en la solución nutritiva.....	12
Tabla 6. Elementos del sistema de fertiirrigación.....	17
Tabla 7. Requisitos para el funcionamiento.....	18
Tabla 8. Resultados del análisis	20
Tabla 9. Características de plantas seleccionadas	20
Tabla 10. Características de cinta de goteo Irriway [37].	24
Tabla 11. Cálculo de pérdidas de energía para salidas múltiples.....	25
Tabla 12. Cálculo de pérdidas de energía para tubería simple.....	25
Tabla 13. Pérdidas totales del sistema de fertirriego	25
Tabla 14. Velocidad de agua en el sistema	26
Tabla 15. Descripción de elementos del sistema de control	27
Tabla 16. Características del solenoide ZE-4F180 [38].....	29
Tabla 17. Características del ESP32 [39].....	29
Tabla 18. Características de la pantalla oled [40].	30
Tabla 19. Características del sensor de humedad [41].....	30
Tabla 20. Características del módulo LM2596 [42].	31
Tabla 21 Elementos de la caja de control	32
Tabla 22. Elementos de la caja de potencia	33
Tabla 23. Componentes del sistema de fertirriego.....	34
Tabla 24. Recursos usados con el programador.....	50
Tabla 25. Recursos usados con método convencional	51
Tabla 26. Crecimiento semanal de las lechugas	51
Tabla 27. Costos del programador	58
Tabla 28. Costos del sistema de tuberías	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Similitud suelo con repositorio [13].	4
Fig. 2 Diseño general de un sistema de riego [15].	5
Fig. 3 Proceso de fertirrigación [20].	9
Fig. 4 Preparación de té de compost [28].	11
Fig. 5 Sistema de fertirriego planteado	17
Fig. 6 Comparación de características entre Hunter-Ecologic y el fertirrigador C3300 ..	19
Fig. 7. Dimensiones de parcela	19
Fig. 8 Distribución de plantas	21
Fig. 9 Eto obtenido empleando el software CLIMWAT	21
Fig. 10 Dimensiones del tanque de almacenamiento.	23
Fig. 11 Esquema de la red de tuberías	23
Fig. 12 Tramos de circulación para cálculo de pérdidas	24
Fig. 13 Diagrama de funcionamiento de la lógica de fertirrigación	26
Fig. 14 Diagrama de conexiones del sistema de control	27
Fig. 15 Interfaz gráfica del programador	28
Fig. 16 Carcasa del programador de fertirriego	28
Fig. 17 Ubicación de los elementos de la caja de control	32
Fig. 18 Ubicación de los elementos de la caja de potencia	33
Fig. 19 Ubicación de los elementos de tubería	34
Fig. 20 Instalación de zona A	35
Fig. 21 Instalación de zona B	35
Fig. 22 Instalación de zona C y D.	36
Fig. 23 Instalación de zona E y F	36
Fig. 24 Instalación de zona G	37
Fig. 25 Instalación de zona H	37
Fig. 26 Encendido de programador	38
Fig. 27 Iniciando pantalla	39
Fig. 28 Modos de funcionamiento	40
Fig. 29 Modalidad de funcionamiento	41
Fig. 30 Sensado de humedad	42

Fig. 31 Programación de riego.....	43
Fig. 32 Rangos de humedad.....	44
Fig. 33 Detección de lluvia.....	45
Fig. 34 Salida a los goteros.....	46
Fig. 35 Goteo de las cintillas	46
Fig. 36 Prueba general en campo.....	47
Fig. 37 Cultivo de plantas para comparativa	48
Fig. 38 Riego por goteo y convencional.....	48
Fig. 39 Análisis de humedad 1	49
Fig. 40 Análisis de humedad 2	50
Fig. 41 Lechugas tras 1 semana.....	52
Fig. 42 Lechugas tras 2 semanas	52
Fig. 43 Lechugas tras 3 semanas	53
Fig. 44 Lechugas tras 4 semanas	53
Fig. 45 Lechugas tras 5 semanas	54
Fig. 46 Lechugas tras 6 semanas	54
Fig. 47 Lechugas de mayor tamaño. (a) por goteo; (b) convencional	55
Fig. 48 Comparativa de diámetros.....	56
Fig. 49 Comparación de la altura.....	57
Fig. 50 Conteo del número de hojas	57

RESUMEN

La abundante recolección residuos de origen orgánicos que no se aprovechan en Ecuador representa una oportunidad. Este proyecto presenta el desarrollo de un sistema de fertirriego por goteo automatizado para huertos urbanos. La ejecución se lleva a cabo mediante un modelo en V, este enfoque permite realizar de manera secuencial los pasos a seguir, desde los requerimientos, diseño preliminar, la construcción y finalmente, la validación con un cultivo de ciclo rápido. En primer lugar, se seleccionan lechugas para el estudio, con ello, calcular los requerimientos hídricos y la cantidad de fertilizante. El diseño del sistema se divide en dos aspectos, el sistema de tuberías que se permite el goteo en las plantas y el sistema de control, de tipo programador, en este caso, programar un riego por tiempo o rango de humedad. Una vez definido el diseño, se construye el sistema de fertiirrigación con materiales presentes en el mercado nacional y de fácil adquisición. Seguidamente, se realizan pruebas de funcionalidad de manera individual y en colectivo para descartar posibles fallas. Finalmente, se realiza una comparación de desarrollo entre el uso del sistema de fertiirrigación y métodos convencionales, evaluando los recursos usados y tamaño promedio, obteniendo resultados más favorables por parte del sistema automatizado.

Palabras claves: Fertirriego, automatización, huerto urbano

ABSTRACT

The abundant collection of organic waste that is not utilized in Ecuador represents an opportunity. This project presents the development of an automated drip fertigation system for urban gardens. The execution is carried out using a V-model, an approach that allows sequential execution of the steps to follow, starting from requirements, preliminary design, construction, and finally, validation with a fast-growing crop. First, lettuce is selected for the study, which helps calculate water requirements and the amount of fertilizer needed. Next, the system design is divided into two aspects: the piping system, which enables plant dripping, and the control system, a programmable type, allowing irrigation by time or humidity range. Once the design is defined, the fertigation system is built using materials readily available in the national market. Subsequently, functionality tests are conducted individually and collectively to rule out potential failures. Finally, a development comparison is made between the use of the fertigation system and conventional methods, evaluating the resources used and average size, with the automated system yielding more favorable results.

Keywords: Fertigation, automation, urban field

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los huertos urbanos han ido en crecimiento con el paso del tiempo, ya que este busca aprovechar pequeños espacios a nivel doméstico, destinado al cultivo de hortalizas, verduras, plantas medicinales u ornamentales o cualquier planta.

Al disponer de pequeñas extensiones de tierra, se requiere de optimizar recursos, en especial el agua, y el método más eficiente para dicho cometido, se emplean sistemas de riego. Con un sistema de riego se busca suministrar eficientemente agua, para cumplir con las necesidades de una planta.

Con el paso del tiempo, la tecnología expande su utilidad, y la agricultura no está exenta de dichos beneficios, por ende, se integran diferentes formas para mejorar la productividad, desde uso de herramientas hasta software, en este caso puntual, automatización de un sistema de riego por goteo.

La agricultura al ser una actividad muy importante, sobre todo en el nuestro país, se requiere de tener un riguroso cuidado con los cultivos y acorde a las diferentes realidades, optimizar los recursos disponibles, como lo son el agua, el espacio de cultivo y los nutrientes del suelo.

PROBLEMA GENERAL

¿Cómo influye el desarrollo de un sistema automático de fertiirrigación por goteo en la eficiencia del uso de agua y nutrientes en huertos urbanos, en comparación con métodos manuales de riego y fertilización?

Contexto

Se enfatiza el uso del compost o fertilizantes orgánicos ya que, en Ecuador, en el censo realizado en el 2021 se dio a conocer que, el 55% de los desechos sólidos son de origen orgánicos, por lo que es un recurso que se puede aprovechar [1].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos General

- Desarrollar un sistema automático de fertiirrigación por goteo para huertos urbanos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los requerimientos de agua y fertilización en huertos urbanos.

- Diseñar el sistema automático el cual, distribuya de manera eficiente agua y fertilizante a las diferentes plantas.
- Implementar el sistema de riego.
- Validar el funcionamiento con un cultivo de ciclo rápido.

1.3. Justificación

El concepto principal de los huertos urbanos es la agricultura ecológica, es decir, contribuir con la conservación de la naturaleza. Dada la premisa, el objetivo de la investigación es diferenciarse de los sistemas de riegos automatizados que se puede encontrar.

La mayoría de los sistemas usan como fertilizantes agroquímicos, con lo que, se plantea reemplazarla por una alternativa más ecológica, el uso de composta.

1.4. Alcance

El presente trabajo se realizará en un huerto ubicado en la ciudad de Otavalo, dedicando un área de 50 m^2 seccionado en tres, una parcela dedicada a verduras y hortalizas, una segunda y tercera constará de frutales pequeños.

Se plantea que el sistema sea de fertirrigación, el cual suministre la cantidad necesaria de abono y agua. El agua se tomará de la red pública y el abono será composta.

Este trabajo se realiza con base en criterios de diseño agronómico, el cual también será de utilidad para la justificación de la selección de los distintos elementos a utilizarse.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Con la creciente de la población mundial, se busca que los pequeños y medianos agricultores se adapten a las nuevas tecnologías, de acuerdo con Valencia & Sepúlveda (2019), los beneficios que estos traen son la eficiencia en el uso de agua e insumos agrícolas, trayendo consigo, mayor productividad y ahorro en costos directos e indirectos [2].

Otro punto a tomar en cuenta es el comportamiento de la humedad en el area de cultivo, por lo que Velázquez Vásquez et al. (2021) en su trabajo destacó que los sensores resistivos de la marca Watermark y Grove, muestran poca sensibilidad al cambio en la humedad cuando se encuentra cerca a la capacidad de campo, esto en un suelo franco arenoso [3].

Por su parte, Ramirez & Vergara (2020) proponen realizar la automatización de sistemas de riego mediante el monitoreo de la temperatura ambiente y la humedad del suelo, activar el riego, además de visualizar en tiempo real la humedad y a la vez almacenar los datos [4]. Asi mismo, Zapatera (2022) plantea un prototipo de sistema de riego por goteo que se configura para que funcione de manera manual o automática, con una interfaz sencilla pero intuitiva, todo esto desarrollado con una placa Arduino y módulos compatibles con esta; además de ser alimentado por energía solar y provista de baterías [5]. Otra alternativa “*Do It Yourself*” el cual es un sistema remoto de riego, capaz de interactuar con el huerto y controlar variables como iluminación o frecuencia de riego y recopilar información relevante del huerto y que tiene como criterios que debe ser sea escalable y personalizable [6].

Los sistemas de fertirriego aplican fertilizantes de manera simultanea al riego, por lo que es un aporte de nutrientes, por lo que se han llevado a cabo comparaciones en el efecto del té de compost contra la fertilización mineral en un cultivo de espinacas. Como resultado el uso del té dio mejores resultados [7]. Otro aporte acerca de fertilizantes orgánicos tiene que ver con el estudio del rendimiento del perejil aplicando tres niveles de bioles en dos sistemas de riego por goteo. El resultado determinó que aplicar biol al 30% incrementa el rendimiento del cultivo [8].

2.2. Fundamentos teóricos

El ser humano ha practicado la agricultura desde que dejó de ser nómada, siendo así que comenzó a interactuar de diversas maneras con la naturaleza. Poco a poco el humano comienza con un proceso de cambios, que no únicamente lo afecta a él sino a todo su entorno [9].

A partir de los años 60, con el apogeo de la revolución industrial, provoca un traslado del sector rural a las grandes ciudades, lo que conlleva a problemas sociales, económicas y culturales. Este suceso implicó que, a partir de los años 90, si bien la agricultura urbana no haya sido un tema novedoso, se plantee como una alternativa para afrontar la insostenibilidad socioeconómica y ecológica, además, darle importancia a los espacios que estén destinados al cultivo ecológico [10].

Pese a tener acogida, existen ciertos problemas a la hora de implementar huertos urbanos, en rincones muy pobladas y en pobreza, no existen políticas las cuales incentiven a practicarlo focalizado a la reducción en la brecha de ricos y pobres. En el caso de lugares desarrollados, aún hay carencias en conocimientos agrarios y prácticas hortícolas que lo van solventando mediante formación y asesoramiento [11].

2.2.1. Huerto

Son espacios dedicados a la siembra, capaz albergar cualquier tipo de cultivo, siempre y cuando el suelo tenga las características necesarias, además de suministrar agua y nutrientes, siendo esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo [12].

2.2.1.1. Relación suelo-agua

La forma de interacción entre el suelo y el agua se asemeja al de un repositorio de líquido como se observa en la Fig. 1.

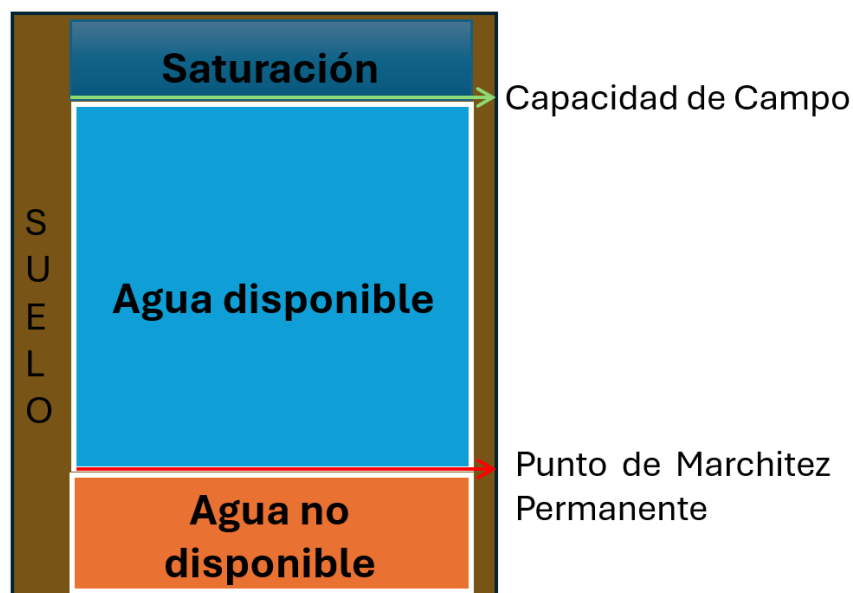


Fig. 1 Similitud suelo con repositorio [13].

Acorde con esta representación, el suelo expresa sus niveles de humedad con las siguientes definiciones:

Saturación: El contenido de humedad es máximo de lo que el suelo puede retener.

Capacidad de Campo (CC): Es un rango óptimo de humedad que comienza a drenarse a través del suelo.

Punto de Marchitez Permanente (PMP): A partir de este punto, la extracción de agua se dificulta por lo que el suelo se seca.

Dichos niveles de humedad se expresan en porcentaje de volumen de agua [13], [14].

2.2.2. Sistema de riego

Es el método por el cual se transporta el agua desde una fuente, pozo o toma de río hacia un espacio de cultivo a través de una red distribución. Los métodos más usados son el riego por aspersión, por goteo e inundación [14], [15]. La Fig. 2 muestra el diseño conceptual de un sistema de riego.

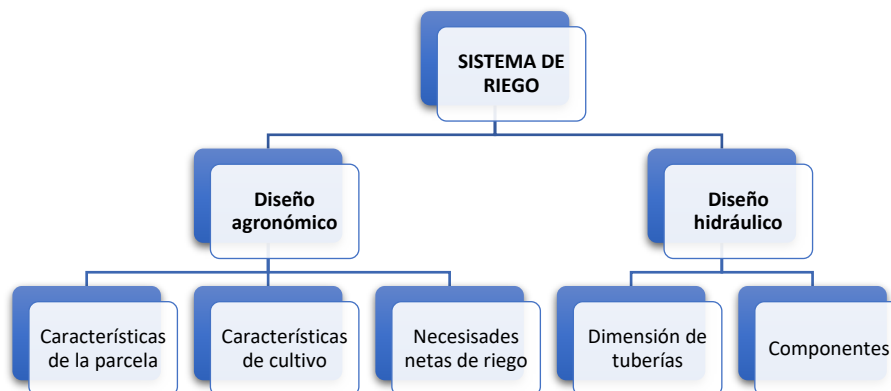


Fig. 2 Diseño general de un sistema de riego [15].

2.2.2.1. Diseño agronómico

Su fin es determinar la cantidad de agua que demandará un determinado cultivo en una parcela.

2.2.2.1.1. Características de la parcela

Consiste en determinar la textura del suelo, la capacidad de retención de humedad. Estas características se obtienen analíticamente por el método de Bouyoucos [16].

Para calcular la capacidad de campo se utiliza la ecuación (1 [16]).

$$CC_G = 0,6382(\% \text{ Arcilla}) + 0,2845(\% \text{ Limo}) + 0,0507(\% \text{ Arena}) \quad (1)$$

Donde:

CC_g : Capacidad de Campo gravimétrica (% en peso de agua)

Para el cálculo del Punto de Marchitez Permanente se emplea la ecuación (2).

$$PMP = 0,4897 * CC_G + 1,1666 \quad (2)$$

Donde:

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%)

2.2.2.2. Evapotranspiración

Durante el desarrollo de una planta, esta sufre de variaciones en el agua que esta obtiene del agua, a esta cualidad se le conoce como coeficiente de cultivo o K_c [17]. La evapotranspiración se refiere a la pérdida de agua ya sea a través del suelo (evaporación), y de la planta (transpiración). Para su cálculo se usa la ecuación 3 [16].

$$E_{Tc} = E_{To} * K_c \quad (3)$$

Donde:

E_{TC} : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

E_{To} : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_c : Factor de cultivo

La evapotranspiración de referencia se puede obtener de las estaciones meteorológicas, y de preferencia que se ubique lo más cerca al lugar de cultivo o, mediante ayudas con software.

2.2.2.3. Requerimientos hídricos

El cultivo durante el transcurso del día tendrá un gasto de agua, por lo que es necesario determinar cuánto necesitará reponer para estar en Capacidad de Campo, y por ende la capacidad mínima del tanque de almacenamiento o fuente de alimentación. En riego mm se refiere a la relación de litros por metros cuadrados [14]. Dentro del cálculo de los requerimientos hídricos es necesario determinar la lámina bruta, volumen de agua por planta y el tiempo de aplicación, las ecuaciones se muestran la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones para requerimientos hídricos

Cálculo de requerimientos hídricos		
Ecuación	Descripción	Numeración
$L_b = \frac{E_{Tc}}{Ef} * 100$	L_b : Lámina bruta (mm/m^2) Ef : Eficiencia (dependiendo del tipo de riego) G : Volumen de agua por planta ($\text{L}/\text{planta}/\text{día}$)	(4)
$G = \frac{L_b}{f} * Sp * Sl$	f : Frecuencia de riego Sp : Espaciamiento entre plantas (m) Sl : Espaciamiento entre laterales (m)	(5)
$N_p = \frac{Sp}{S_e}$	N_p : Puntos de emisión por planta S_e : Espaciamiento entre emisores (m)	(6)
$T_a = \frac{G}{N_p} * q_a$	T_a : Tiempo de aplicación de agua q_a : Caudal del emisor (L/h)	(7)

2.2.3. Diseño hidráulico

Determinar las dimensiones, ubicación y funcionamiento de los componentes que conforman el sistema, cumpliendo con lo estipulado en el diseño agronómico.

2.2.3.1. Necesidades de presión

En el riego localizado es imprescindible tener cierta presión mínima para el que agua circule por toda la red de tuberías. Durante el trayecto se generan pérdidas de energía por los cambios de diámetro en la tubería, cambios de dirección, elementos de unión y válvulas [16].

Para determinar las pérdidas de presión, estas pueden ser para tubería simple o con salidas múltiples. Para el caso de tuberías simples, está dada por la ecuación (8) [16].

$$hf = \frac{10.296 * n^2 * L * Q^2}{D^m} \quad (8)$$

Donde:

hf : pérdida de carga en tubería (mca)

n : coeficiente por rugosidad (adimensional)

L: longitud de tubería (m)

D: diámetro interno (m)

Q: caudal (m^3/s)

M: 16/3

Las pérdidas de energías en tuberías con salidas múltiples se calculan con la ecuación (9) [16].

$$hft = \frac{F * k * L * Q^2}{D^m} \quad (9)$$

Donde:

hft: pérdida de carga en tubería con salidas múltiples (mca)

F: factor de corrección de Christiansen

k: coeficiente tomando en cuenta la rugosidad de la tubería (adimensional)

2.2.4. Fertiirrigación

Es la técnica de riego localizado, el fertirriego se lo realiza mediante riego por goteo; destacándose de técnicas convencionales como el riego por aspersión, por inundación o por surcos; ya que, aplica gotas en cada planta, humedeciendo una pequeña parte a su alrededor, llegando a una eficiencia de hasta 90% y que aplica fertilizantes, más precisamente nutrientes disueltos, transportados mediante el agua de riego [18], [19].

La Fig. 3 muestra un sistema presurizado mediante Venturi, succiona el contenido de los tanques y lo integra a la red de distribución. Otra forma se da por gravedad, en el cual trabaja con presión atmosférica y es de inyección directa, es decir, un tanque con solución fertilizante [20], [21].

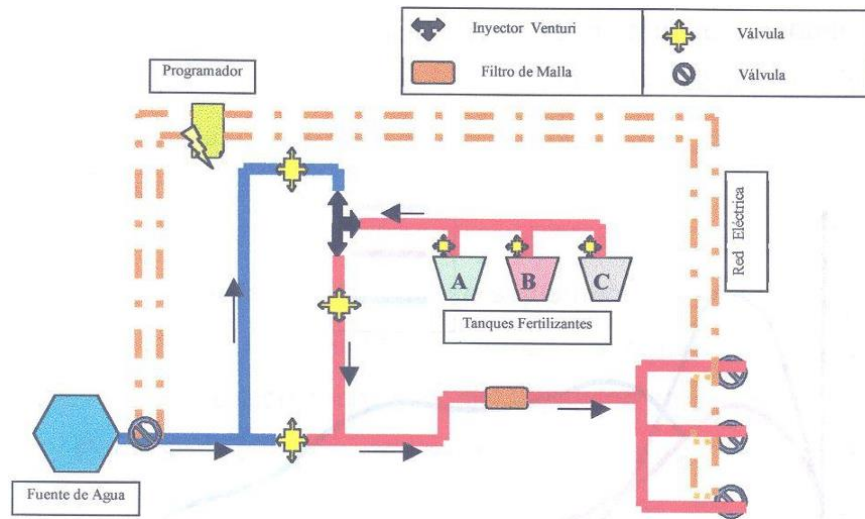


Fig. 3 Proceso de fertirrigación [20].

2.2.5. Programadores comerciales

En la Tabla 2 y la Tabla 3 se muestran las características más relevantes de los programadores de riego y fertirriego.

Tabla 2. Datos relevantes de programadores de riego comerciales [22], [23]

Marca/Modelo	Funciones	Instalación	Estaciones	Precio
WATER TIMER HCT-322	Programa frecuencia de riego (manual/automático)	Roscado a un grifo	1	\$55
Temporizador de riego Haofy	Programa frecuencia de riego (manual/automático Detección de lluvia)	Roscado a un grifo	1	\$60
Programador Hunter-Ecologic	Programa frecuencia de riego Temporizador Detección de lluvia	Empotrado en un lugar cerrado	6	\$103

Tabla 3. Programadores de fertirriego [24], [25]

Marca/Modelo	Funciones	Estaciones	Alimentación
Shaker Set	Dosificación de fertilizantes	20	380 VAC
	Sensor de lluvia y humedad		
C3300	Programas independientes	24	115/230V AC o panel solar
	Riego temporizado o por cantidad		
	Lectura de sensores		
	Programas independientes		

2.2.6. Compostaje

Es el proceso por el cual interactúan restos orgánicos, microorganismos, aireación y producción de calor, con ello provocando la descomposición de la materia orgánica, dando lugar a un producto con diferentes propiedades benéficas para el suelo y las plantas [26], [27].

2.2.6.1. Compost

Es un abono orgánico compuesto de Carbono y Nitrógeno, así como también minerales y microorganismos, dándole mejores condiciones al suelo a la hora de cultivar. Beneficios como mayor capacidad de infiltración de agua, adición de nutrientes y reducción de estrés hídrico [26]. En la Tabla 4 se indica los beneficios del compost.

Tabla 4. Aporte del compost [27]

Nutriente	% en compost	g/kg de compost	Función
Nitrógeno	0,3%-1,5%	3g a 15g	Presente en los procesos de la planta
Fósforo	0,1%-1,0%	1g a 10g	Eficiencia en la fotosíntesis
Potasio	0,3%-1,0%	3g a 10g	Afecta a la estructura de la planta

2.2.7. *Té de compost*

Es un fertilizante líquido o biol proveniente de la fermentación de la composta en un líquido, ya que este contiene nutrientes solubles que se integran en uno solo, este proceso se asemeja a la preparación de un té [7].

La Fig. 4 muestra cómo se realiza el té, dentro contenedor cerrado de agua, se coloca una malla permeable en la que se encuentra el compost, sumado a ello, debe tener aireación, ya que este proceso tiene como fin aumentar la población microbiana [28].

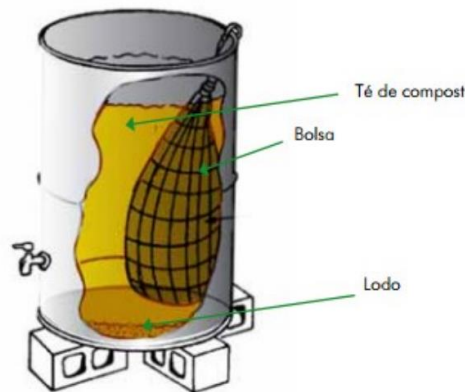


Fig. 4 Preparación de té de compost [28].

Su similitud con el preparado de té es notoria, pero, se diferencian en la utilización de grandes volúmenes, de agua y compost en una determinada relación para su preparación [29].

2.2.8. *Método de la solución nutritiva óptima*

Elaborar soluciones nutritivas de concentración y equilibrios adaptados a los requerimientos del cultivo.

Para iniciar hay que determinar si el cultivo es de carácter vegetativo o generativo.

Generativo: Son aquellas que presentan floración, fructificación y maduración de frutos.

Vegetativo: Presentan hojas grandes, brotes vigorosos, estructura flexible y la escasa presencia de flores o frutos.

Pese a estos rasgos marcados, factores ambientales o características del suelo influyen en que tienda a ser más vegetativo o generativo. En casos desfavorables, sean altas temperaturas, baja humedad o alta radiación, las plantas tienden a ser generativas, caso contrario, en condiciones de confort, su tendencia es vegetativa [19].

La Tabla 5 indica las cantidades NKP aproximadamente de carga total de iones o gramos por litros debe contener la solución nutritiva en el caso de cultivos a campo abierto considerando un 100% de tiempo de inyección respecto al total del riego [19].

Tabla 5. Valores de referencia para relaciones N/K en la solución nutritiva

Tipo de cultivo	Solución nutritiva	N		K		P	
		mEq/L	mg/L	mEq/L	mg/L	mEq/L	mg/L
Hortícola	Intermedia	4,5	63	2	78	1,25	39
Frutal	Intermedia	1,8	25	0,9	34	0,15	4,5

3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se trata de las herramientas, procedimiento y la forma de cómo se lleva a cabo para el cumplimiento del trabajo.

3.1. Modelo de investigación

El desarrollo de un sistema de fertirriego corresponde a una investigación aplicada, ya que implica plasmar los conocimientos y técnicas conocidas para proponer soluciones a un problema en específico [30]. A su vez, la investigación es de tipo documental ya que es necesario recopilar información de diferentes fuentes procedente de trabajos de índole investigativo, acerca de distintos tópicos como lo son, cultivos, sistemas de riego, fertirriego [31].

De igual forma, es una investigación de campo porque requiere trasladarse al lugar de estudio para identificar el estado inicial del área de trabajo y obtener información relevante [30]; además de ser de tipo experimental dado que el investigador estudia el fenómeno mediante pruebas asignadas por él [32]. Finalmente, es de carácter cuantitativo ya que los resultados obtenidos son registrados [33].

3.1.1. Metodología de desarrollo

El método más ligado a los trabajos de ingeniería es el modelo en V, ya que involucra una serie de procedimientos que se van cumpliendo sistemáticamente desde la concepción de una idea hasta la puesta en marcha con sus respectivos resultados. La manera de abarcar este tipo de trabajos es mediante el diseño del sistema, modelamiento y análisis y la integración del sistema [34], [35].

3.2. Diseño de investigación

Se describen cada una de las fases planteadas, y los pasos requeridos para su desarrollo, de manera secuencial y con base en los objetivos específicos.

3.2.1. Fase 1: Análisis de requerimientos

En esta fase se da a conocer los requerimientos que el sistema debe cumplir, así como también, el cultivo y el fertilizante con el cual se va a trabajar.

Actividad 2: Análisis de suelo.

Se realiza para conocer las condiciones iniciales de la parcela, como lo son la textura, pH y material orgánico, con el fin de acondicionar el espacio previo al cultivo.

Actividad 3: Selección de cultivos.

Se realiza una investigación teórica de cultivos categorizados como hortalizas y frutales pequeños, tomando en cuenta su tiempo de desarrollo.

Actividad 4: Establecer la cantidad de fertilizante a aplicar

Prueba experimental de té de composta, de manera que, se determine la relación de agua-compost más eficiente para aplicar en los cultivos.

3.2.2. Fase 2: Diseño agronómico

En esta fase se calculan los requerimientos hídricos de los cultivos seleccionados.

Actividad 1: Sectorización de la zona de cultivo

Consiste dividir por zonas a la parcela, posteriormente, ubicar las plantas seleccionadas.

Actividad 2: Cálculo de Eto

Esta actividad radica en determinar el gasto que las plantas tendrán al día.

Actividad 3: Cálculo de lámina de riego

Se realiza el cálculo del volumen de agua o solución nutritiva a usar en la parcela.

Actividad 4: Cálculo del tiempo de aplicación.

En base a la lámina de riego, se establece el tiempo necesario de riego o fertirriego.

3.2.3. Fase 3: Diseño hidráulico

Basado en los parámetros obtenidos en la fase 2 es posible realizar esta fase mediante los siguientes pasos.

Actividad 1: Distribución de tuberías

De acuerdo con la actividad 1 de la fase anterior, se conceptualiza la distribución de plantas, con ello, se ubica la red de tuberías en los lugares previamente establecidos.

Actividad 2: Ubicación de elementos

Se coloca elementos de unión, reducción, regulación y paso de agua, según sea necesario.

Actividad 3: Determinar las pérdidas de energía

Se calculan las pérdidas de energías con respecto a los elementos usados, con ello, que cumpla con la presión mínima de funcionamiento para las cintas de goteo.

Actividad 4: Determinar diámetro de tuberías

De acuerdo con las pérdidas de energía obtenidas, se determina el diámetro de la tubería principal.

3.2.4. Fase 4: Diseño del programador

En esta fase se explica el desarrollo del programador de fertirriego.

Actividad 1: Definición del programador de fertirriego

Determina los requerimientos que cumplir.

Actividad 2: Conceptualización de idea

Se plantea la automatización, es decir, como realiza la fertiirrigación.

Actividad 3: Programación

Es la solución propuesta para cumplir con la automatización.

Actividad 4: Diseño de envolvente

Caja contenedora de la circuitería.

3.2.5. Fase 5: Construcción y ensamble

En esta fase se indica como fue el proceso para la integración tanto de la parte del sistema de tuberías como el sistema de control.

Actividad 1: Cotización de elementos previamente determinados

Consulta en el mercado nacional acerca de la existencia de los materiales para el sistema de fertirriego.

Actividad 2: Adquisición de materiales

Compra de materiales electrónicos, tuberías y sus respectivos accesorios.

Actividad 3: Construcción del programador.

Con el diseño del programador, se ubican los módulos y componentes electrónicos en las respectivas cajas contenedoras.

Actividad 4: Construcción del sistema de tuberías

Se conecta la toma de agua y el tanque de fertilizante mediante las tuberías y los accesorios.

3.2.6. Fase 6: Verificación

En este apartado se muestran las pruebas individuales realizadas a la parte de diseño y la de control, además, verificar por completo el sistema.

Actividad 1: Pruebas del programador

Pruebas individuales al programador para corroborar el funcionamiento de los elementos que lo conforman.

Actividad 2: Pruebas del sistema de tuberías

Pruebas para descartar fugas y comprobar que exista goteo de agua o solución nutritiva.

Actividad 3: Pruebas generales

Se integran ambos sistemas y se realiza una prueba en conjunto, posteriormente corrección de errores, en caso de ser necesario.

3.2.7. Fase 7: Validación

Actividad 1: Plantación de cultivos

De acuerdo con la sectorización, se cultivan las lechugas para el estudio.

Actividad 2: Registro de resultado

Durante el período de crecimiento, se evalúa el rendimiento del cultivo usando el sistema automático y técnicas convencionales.

Actividad 3: Discusión de resultados

Con la información obtenida, se determina quien obtuvo mejores resultados.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se explica el proceso que se lleva a cabo para el desarrollo del sistema de fertirrigación, cálculos, selección de materiales, pruebas realizadas y validación con un cultivo de ciclo corto.

4.1. Descripción general

El sistema automático de fertirrigación tiene como objetivo ser una solución asequible enfocado en pequeños espacios. La Fig. 5 se muestra como está conformado el sistema.

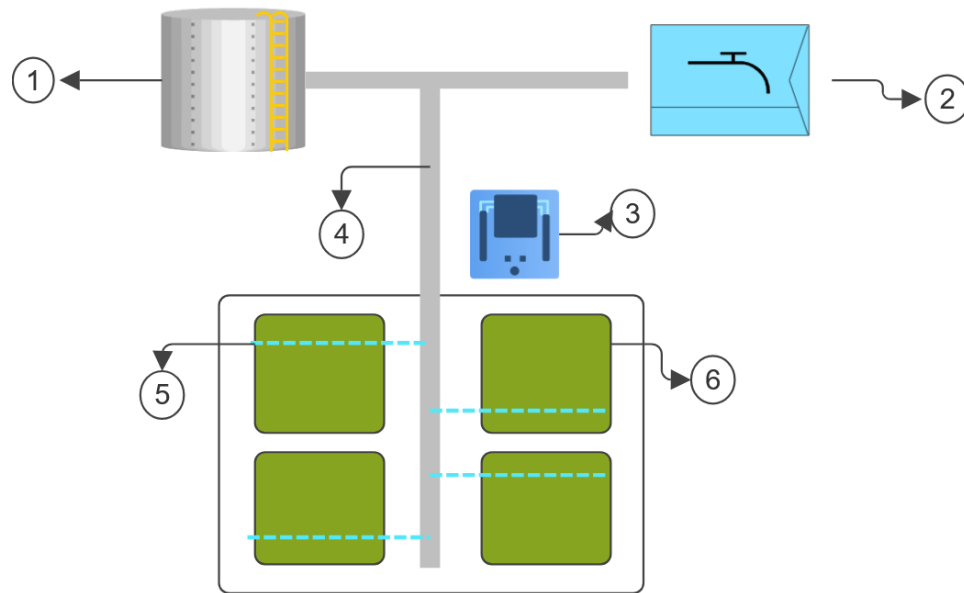


Fig. 5 Sistema de fertirriego planteado

La Tabla 6 describe cada uno de los elementos y la finalidad que cumple.

Tabla 6. Elementos del sistema de fertirrigación

N°	Descripción	Función
1	Tanque de solución nutritiva	Fertilizante
2	Canilla de agua	Ingreso de agua
3	Programador de fertirrigación	Controla la fertirrigación
4	Tubería	Canal de transporte de agua o solución nutritiva
5	Cinta de goteo	Humedece a las plantas
6	Parcela	Lugar de cultivo

4.2. Especificaciones del sistema a diseñar

Trata de aquellos requisitos y características del sistema para su correcto funcionamiento.

Tabla 7. Requisitos para el funcionamiento

Requerimientos	Descripción	Prioridad		
		Baja	Media	Alta
Uniformidad de riego	Igualdad de humedad entre plantas			X
Aplicación precisa	Momento adecuado de riego			X
Eficiente	Solución de fertirriego satisfaga las necesidades			X
Monitoreable	Visualización del valor de humedad		X	
Costo-beneficio	Inversión sea recuperable a corto plazo	X		
Adaptable	Programación de frecuencia de riego		X	

4.3. Solución propuesta para el sistema de fertirrigación

Dentro del mercado nacional los programadores de riego se tratan de dispositivos temporizados de una salida conectados directamente en una canilla de agua, es decir, pensado para jardinería, mientras que los programadores de fertirriego están enfocados en la agricultura. Son maquinarias que requieren de un gran espacio, tienen muchas funcionalidades provocando alta inversión y en muchos casos, no disponibles en el país.

Tomando como referencia el modelo programador Hunter-Ecologic y el fertirrigador C3300, la Fig. 6 indica las características de ambos modelos. Esta comparativa está basada en los requerimientos presentados en la Tabla 7.

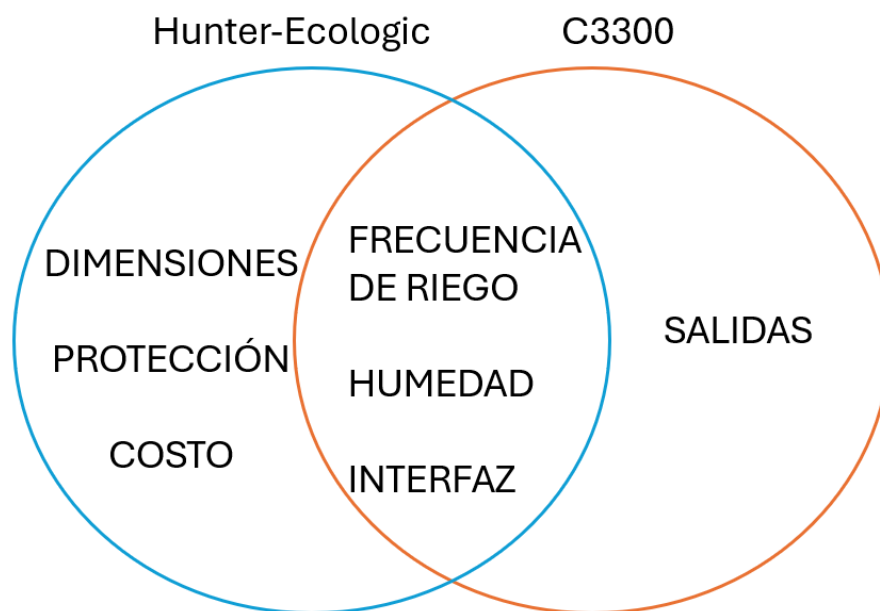


Fig. 6 Comparación de características entre Hunter-Ecologic y el fertirrigador C3300

De acuerdo con esta comparativa, se opta por una solución híbrida. De dimensiones pequeñas, cierta protección a espacios abiertos, costo bajo y al menos 2 salidas; posibilidad de establecer la frecuencia de riego de manera manual o automática, visualización del porcentaje de humedad, junto a una interfaz sencilla e intuitiva.

Se emplearán elementos o módulos electrónicos de fácil adquisición en el mercado nacional, esto para que el mantenimiento no sea complicado.

4.4. Diseño agronómico

En la Fig. 7 se muestran las dimensiones de la parcela, las medidas se encuentran en m.

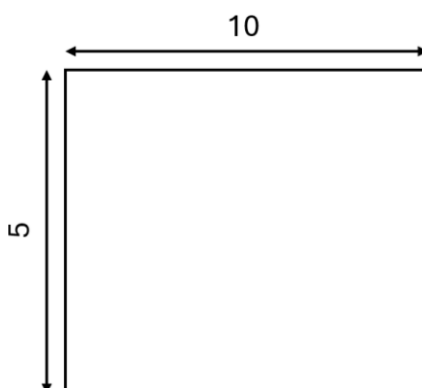


Fig. 7. Dimensiones de parcela

Para llevar a cabo el diseño agronómico se procede a realizar un análisis de suelo, esto con el fin de obtener datos acerca de la parcela en la que se va a trabajar y que se dan a conocer en el anexo A. A continuación, en la Tabla 8 presenta un resumen de los datos de la parcela.

Tabla 8. Resultados del análisis

Datos de la parcela	
Tipo de suelo	Franco
Densidad aparente	1,4 g/cm ³
Capacidad de campo	22 %
Punto de marchitez permanente	10 %
Velocidad de infiltración	13 mm/h

4.4.1. Selección de cultivos

Considerando el tiempo para la validación del sistema automático de riego, se opta por un cultivo de hortalizas ya que [16] menciona que las mismas son de ciclo corto (entre 60 y 80 días) y que, además, se desarrollan mejor en suelos francos. Al menos poseen 2 % de materia orgánica y el pH se encuentre entre 5,6 y 7,2. En el caso de los frutales, se eligieron las fresas, ya que comparten similitudes con las hortalizas, como se puede ver en la Tabla 9.

Tabla 9. Características de plantas seleccionadas

Cultivo	Kc	Separación (cm)		Duración (días)
		Plantas	Hileras	
Hortalizas	1,05	0,3	0,5	50
Fresas	0,85	0,3	0,5	90

4.4.2. Distribución de parcela

La parcela está dividida en 4 zonas, cada una de estas con dimensiones 4x1,8 m. La zona 1 destinada para las fresas mientras que la zona 2, 3 y 4 se colocaran las hortalizas. De acuerdo con la Tabla 9, en cada zona, las plantas estarán separadas 30 cm al igual que las cintillas. Además, la separación que hay entre las zonas es de 60 cm y las tuberías es de 1 m, todo lo explicado se muestra en la Fig. 8.

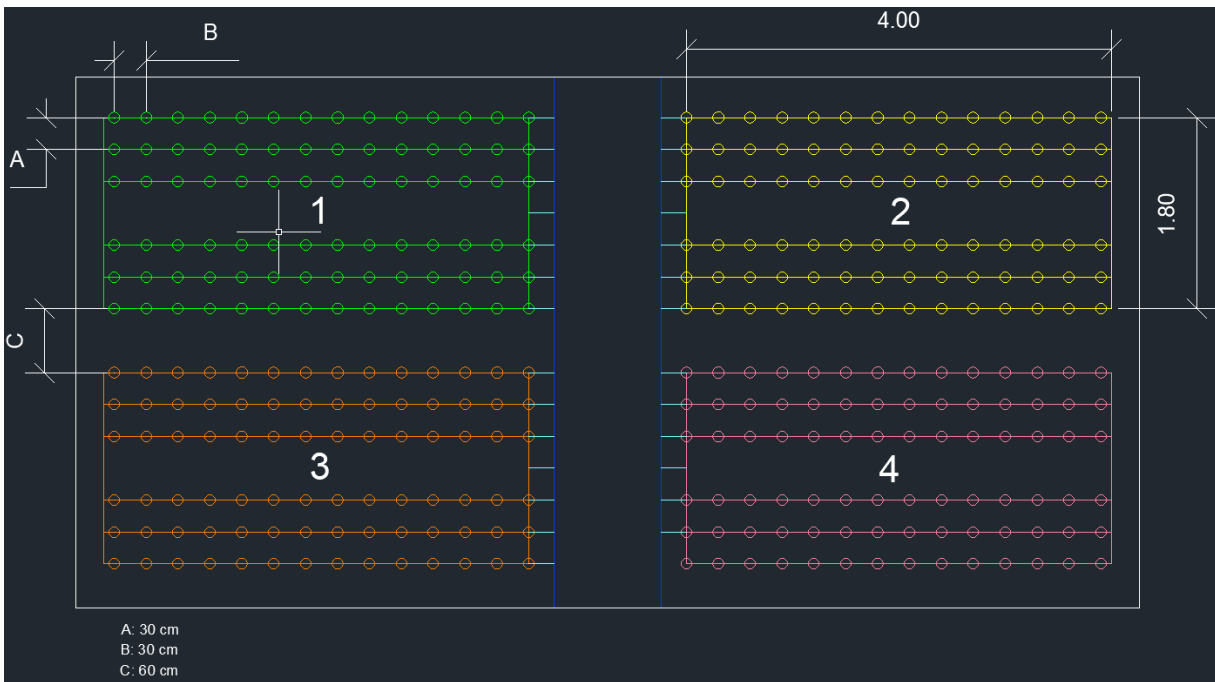


Fig. 8 Distribución de plantas

4.4.3. Evapotranspiración

La determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (Eto), mencionada en la sección 2.2.2.2, se realiza utilizando el software CLIMWAT, basada en las herramientas que ofrece la FAO. Se obtuvieron los datos que se muestran en la Fig. 9 [16].

Eto Penman-Monteith Mensual - C:\Program Files (x86)\CROPWAT\Eto.PEM

País: Ecuador Estación: OTAVALO

Altitud: 2856 m. Latitud: 0.23 °N Longitud: 78.26 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	Eto mm/día
Enero	8.4	20.0	83	190	3.4	14.2	2.75
Febrero	7.9	19.9	84	164	4.6	16.5	3.01
Marzo	8.4	20.1	83	164	4.6	16.7	3.08
Abril	8.9	19.9	83	164	4.1	15.5	2.88
Mayo	8.8	20.4	83	164	4.1	14.6	2.77
Junio	8.5	20.3	85	207	4.2	14.3	2.67
Julio	7.6	19.9	82	259	4.2	14.5	2.82
Agosto	7.3	20.1	80	268	4.3	15.3	3.03
Septiembre	7.6	20.4	79	225	4.4	16.1	3.14
Octubre	8.5	20.5	82	181	4.7	16.6	3.10
Noviembre	9.1	20.6	82	164	5.0	16.6	3.09
Diciembre	8.8	19.4	82	190	5.0	16.3	2.97
Promedio	8.3	20.1	82	195	4.4	15.6	2.94

Fig. 9 Eto obtenido empleando el software CLIMWAT

Con respecto al K_c , según [17] la zanahoria, lechuga y rábano los agrupa en la categoría de hortalizas pequeñas, lo cual, los miembros de un mismo grupo poseen coeficientes similares.

De acuerdo con la tabla 9, las hortalizas son quienes tienen más desgaste de agua, por lo que se usaran como el cultivo referencia para el diseño. Según los resultados del Eto, el máximo desgaste por día ocurre en el mes de septiembre, mientras que el mínimo se presenta en junio. El promedio que se utiliza para el diseño es de un $Eto=2,94$.

Usando la ecuación (3), $Etc= 3,087 \text{ mm/día}$.

4.4.4. Requerimientos hídricos

En el riego por goteo, la eficiencia puede ir entre 80 a 90, pero comúnmente se usa 90. Mediante (4) se obtiene que la lámina de riego es de $3,36 \text{ mm/día}$.

Una vez conocida la lámina de riego, se determina la cantidad de agua que necesita cada planta, para ello, las plantas se separan cada $0,3 \text{ m}$ y los laterales $0,3 \text{ m}$. Por lo tanto, usando (5), $G=0,3 (L/p) /\text{día}$.

Para cubrir dicho gasto de la planta, se requiere de cierto tiempo, para lo cual se usa (6), con ello el tiempo de aplicación es de $0,26 \text{ h}$, aproximadamente 15 minutos con 36 segundos.

En caso de requerir un tanque de almacenamiento, se conoce que 1mm es igual $1 \text{ L}/\text{m}^2$, entonces multiplicando la lámina de riego por el área destinada al cultivo, por lo que se necesita como mínimo un tanque de 168 L .

4.5. Solución nutritiva

La solución aplicada tiene una relación de 5 L de agua por 1 L de compost, siendo aproximadamente $0,55 \text{ kg}$ de compost. Al tratarse de un té aireado de manera manual, el proceso de preparación tarda alrededor de una semana [36]. Para ser apto para ingresar en el sistema, se debe homogenizar el té de compost con agua, por lo que, esta relación es de $1:10$.

El tanque para almacenar la solución es de 60 L , por lo que, es necesario 5 L de té de compost y 50 L de agua. En la Fig. 10 se muestran las especificaciones del tanque de almacenamiento.

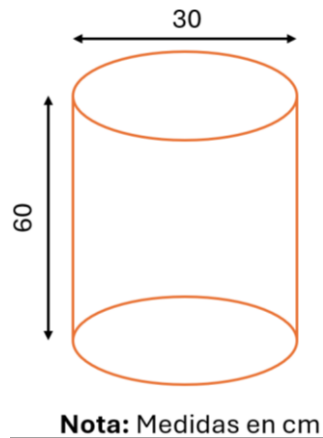


Fig. 10 Dimensiones del tanque de almacenamiento

4.6. Diseño hidráulico

Al tratarse de un riego localizado, las cintas de goteo necesitan una presión mínima de funcionamiento, por lo que es necesario determinar los diámetros de las tuberías y pérdidas para el correcto funcionamiento.

En la Fig. 11 se observa el sistema de tuberías que se plantea, destacando que el tanque con la solución de fertilizante se sitúa a 3,5 m con respecto del suelo, además que, el agua que se usa para riego está tomado directamente de la red pública.

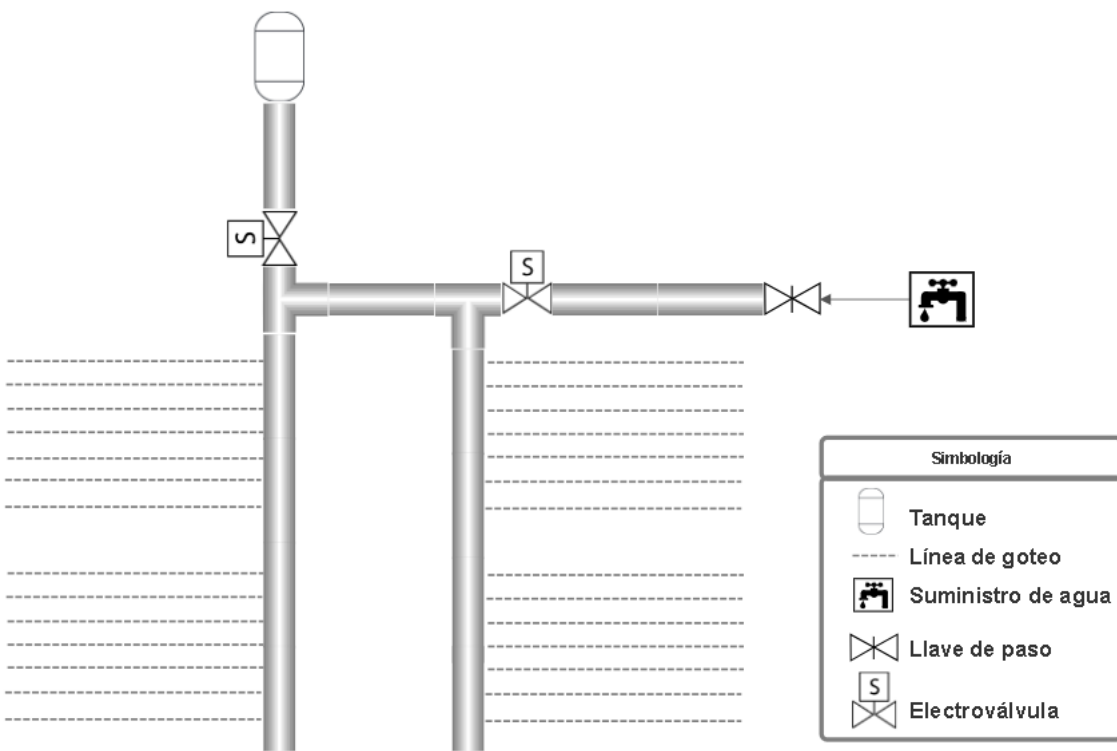


Fig. 11 Esquema de la red de tuberías

4.6.1. Cintillas

Es elemento principal del riego por goteo, ya que se tratan de pequeñas mangueras con perforaciones a cierta distancia, los cuales, generan goteo cuando se encuentran a presión [16]. En la Tabla 10.

Tabla 10. Características de cinta de goteo Irriway [37].

Código	Diámetro nominal (mm)	Presión (bar)	Caudal (l/h)
IRT160510-52	16	0,25 - 1	0,75 – 1,41

4.6.2. Pérdidas de carga

Para riego localizado en espacios reducidos, los agrónomos recomiendan usar como tubería principal un diámetro de una pulgada, estás siendo capaz de soportar hasta 413,7 kPa (60 psi). A partir de las líneas principales se realizan las derivaciones para la inclusión de cintilla de goteo, las cuales comenzaran a gotear una vez que todo el sistema tenga la presión necesaria.

Para calcular las pérdidas de carga, inicialmente se determina el camino más largo que el líquido recorrerá, de acuerdo con la Fig. 12 se observa que consta de cuatro tramos, siendo el tramo 1 de salidas múltiples, el tramo 2 y tramo igualmente de salidas múltiples y el tramo 4 una tubería simple. Los resultados se muestran en la Tabla 11.

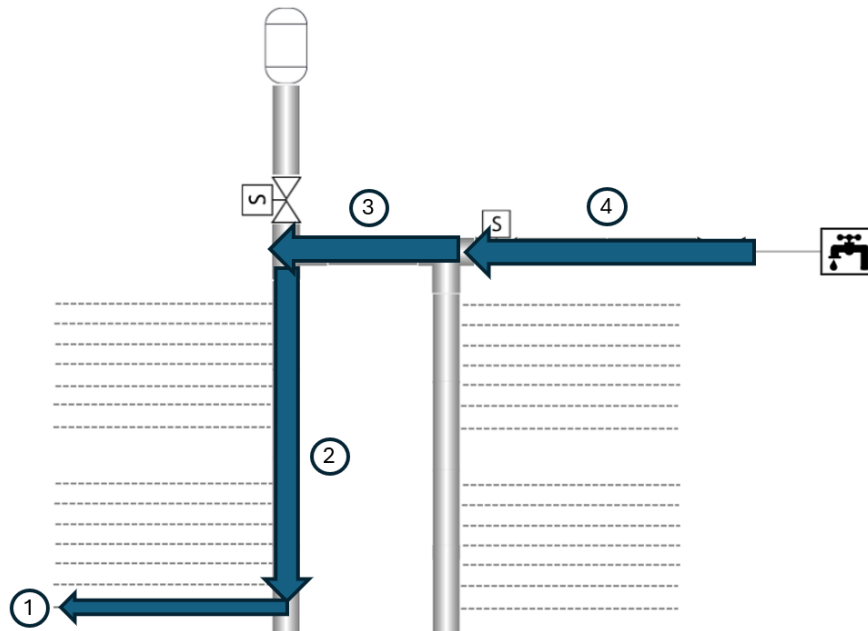


Fig. 12 Tramos de circulación para cálculo de pérdidas

Tabla 11. Cálculo de pérdidas de energía para salidas múltiples

Sección	F	k	Longitud (m)	Caudal (m ³ /s)	D ^m	$h_{ft} = \frac{F * k * L * Q^2}{D^m}$
Tramo 1	0,403	$6,59 * 10^{-4}$	4	$4,69 * 10^{-6}$	$0,016^{16/3}$	$8,84 * 10^{-5}$
Tramo 2	0,4	$8,34 * 10^{-5}$	5	$6,57 * 10^{-5}$	$0,0254^{16/3}$	$2,32 * 10^{-3}$
Tramo 3	0,65	$8,34 * 10^{-5}$	1	$1,31 * 10^{-4}$	$0,0254^{16/3}$	$3 * 10^{-3}$

Tabla 12. Cálculo de pérdidas de energía para tubería simple

Sección	n	Longitud (m)	Caudal (m ³ /s)	D ^m	$h_f = \frac{10,2936 * n^2 * L * Q^2}{D^m}$
Tramo 4	0.09	6	$1,31 * 10^{-4}$	$0,0254^{16/3}$	0.03

Las cintillas requieren una presión mínima de 2 mca (19,6 kPa) para comenzar a gotear. Para conocer las pérdidas totales, hay que realizar la sumatoria de cada pérdida obtenida en la tabla Tabla 11 y Tabla 12. Además, [15] menciona que los elementos de unión y regulación también generan pérdidas, por lo que recomienda que, al valor obtenido se le añada un 15 % con el fin de acaparar de manera general dichas pérdidas.

El valor total de las pérdidas se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Pérdidas totales del sistema de fertirriego

Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Cintilla	Accesorios	Total= $\Sigma \text{pérdidas} * 1,15$
$8,84 * 10^{-5}$	$2,32 * 10^{-3}$	$3 * 10^{-3}$	0.03	2	15 %	2,34

Conociendo el caudal y el diámetro de la tubería, se puede conocer la velocidad con la que el agua circula y se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Velocidad de agua en el sistema

Caudal (m^3/s)	Radio (m)	Área = $\pi * r^2$ (m^2)	$V = Q/A$ (m/s)
$1,31 * 10^{-4}$	0.0127	$5,07 * 10^{-4}$	0,26

4.7. Diseño del programador

Como se explicó en la sección 4.3. , para cumplir con el requerimiento de ser adaptable, la solución se presenta como un programador de riego, que funciona mediante niveles de humedad o temporización, además, permite realizar riego o fertirriego según sea el criterio del usuario. El sistema de control se muestra en la Fig. 13.

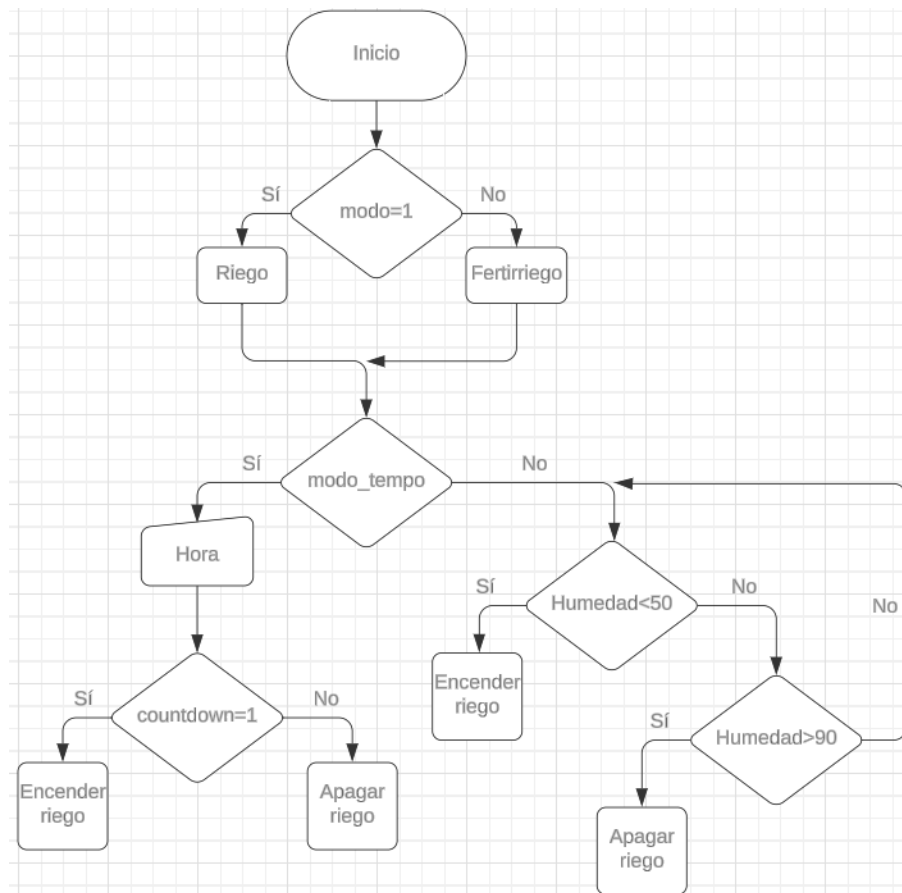


Fig. 13 Diagrama de funcionamiento de la lógica de fertirrigación

En los valores de rango para la función automática, el valor mínimo es una recomendación de la literatura cuando se trata de riego localizado; en el caso del valor máximo, se debe a que, la precisión en las pruebas de calibración del sensor de humedad se registraban distintos valores y

por ende era muy complicado llegar al 100%. Cabe mencionar que estos valores se pueden configurar en el programador.

Conociendo la lógica a seguir, mediante la Fig. 14 se presenta la conexión del sistema de control.

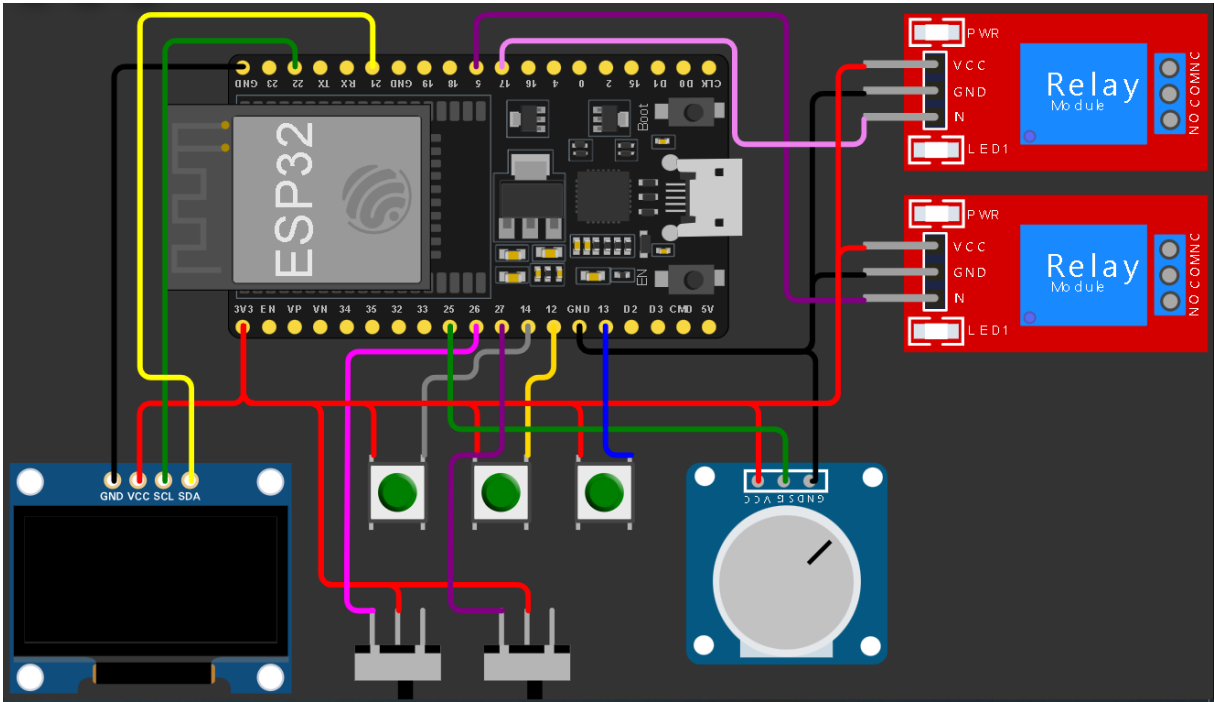


Fig. 14 Diagrama de conexiones del sistema de control

El sistema de control está conformado por varios elementos que realizan diferentes acciones, los cuales se detallados en la Tabla 15.

Tabla 15. Descripción de elementos del sistema de control

Control de sistema de fertirriego		
Elemento	Descripción	Tipo
Botón	Ingreso de valores	Entrada
Sensor	Sensado de humedad	Entrada
Relé	Activación de riego	Salida
Selector	Cambio modo/modalidad	Entrada
Pantalla	Muestra información	Indicación
Microcontrolador	Interactúa con los elementos	Control

4.7.1. Interfaz gráfica

El sistema de control permite interactuar con el usuario mediante la pantalla, la cual, muestra diversa información, ya sea el porcentaje de humedad, riego o fertirriego, temporizador o automático. Además, una indicación cuando haya lluvia; así como se muestra en la Fig. 15.

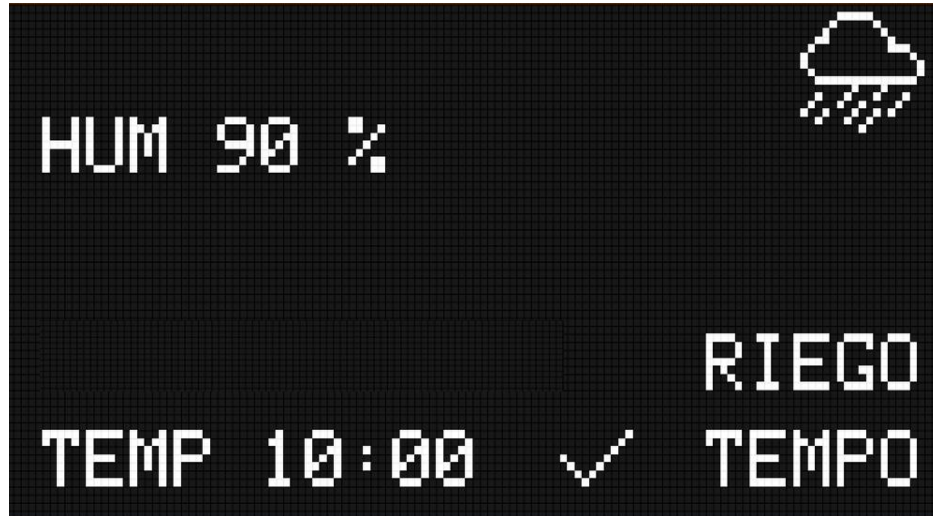


Fig. 15 Interfaz gráfica del programador

4.7.2. Carcasa del del programador

Debido a que el programador se ubica cerca de la parcela, se encapsula todo el sistema de control en una caja con protección IP. Además, una segunda caja que este enfocada a la alimentación y encendido del sistema de control como se muestra en la Fig. 16.



Fig. 16 Carcasa del programador de fertirriego

4.8. Selección de componentes

En base a los criterios expuestos en las secciones 4.6. y 4.7. , este apartado está enfocado en seleccionar los distintos elementos necesarios previo a la construcción.

4.8.1. Electroválvula

Se trata de una válvula de funcionamiento eléctrico que permite controlar el paso de fluidos o gases. Dado que las pérdidas del sistema son 2,34 mca, se ha elegido el solenoide ZE-4F180. Sus características se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Características del solenoide ZE-4F180 [38].

Características	Descripción
Tensión de alimentación	12V DC
Consumo de corriente	0,6 A
Temperatura de funcionamiento	0 a 100 °C
Tamaño de rosca	1,27 mm (1/2 inch)
Caudal	1.5 L/min – 20 L/min
Presión de funcionamiento	2 a 81,58 mca

4.8.2. Microcontrolador

Es la parte central del sistema de control, ya que se trata de una unidad central de procesamiento, el cual, gestiona la memoria, así como los periféricos asociados. Puesto al constante procesamiento de información se ha elegido una placa de desarrollo ESP32. En la Tabla 17 se muestran las características de este microcontrolador.

Tabla 17. Características del ESP32 [39].

Características	Descripción
Tensión de alimentación	3,3 V – 5 V DC
Voltaje de salida	3,3 V
Corriente máxima	1 A
GPIO	34
Memoria ROM	448 kB
Memoria RAM	520 kB
Protocolos de comunicación	SPI, I2S, I2C, UART,

4.8.3. Pantalla

Se selecciona una pantalla modelo DM-OLED096-636. Esta cuenta con tecnología OLED, muy popular por su bajo consumo y buena calidad de imagen y contraste. La Tabla 18 muestra sus características.

Tabla 18. Características de la pantalla oled [40].

Características	Descripción
Voltaje de alimentación	3,3 – 5 V
Corriente de consumo	30 mA
Comunicación	I2C
Resolución de pantalla	128x64 px
Tamaño de pantalla	24,38 mm (0,96 inch)
Driver	SSD1306

4.8.4. Sensor de humedad

Tomando en cuenta que el sistema no funciona únicamente con agua, la mejor opción es un sensor capacitivo dado a su propiedad anticorrosiva. Para este caso se ha seleccionado el sensor SKU: SEN019, mediante la Tabla 19 se exponen sus características.

Tabla 19. Características del sensor de humedad [41].

Características	Descripción
Voltaje de alimentación	3,3 – 5,5V DC
Voltaje de salida	0-5,0V DC
Corriente de operación	5 mA
Dimensiones	98x23 mm

4.8.5. Regulador de voltaje

Dado el voltaje de funcionamiento del solenoide, el programador funcionará al mismo voltaje, por lo tanto, es necesario reducir el voltaje para que sea compatible con los demás elementos, dicho esto, se eligió el módulo LM2596. En la Tabla 20 se indican sus características.

Tabla 20. Características del módulo LM2596 [42].

Características	Descripción
Voltaje de entrada	4,5 V a 40 V DC
Voltaje de salida	1,23V a 37 V DC
Potencia máxima de salida	25W
Tipo de regulador	Switching
Dimensiones	43x21x13 mm

4.9. Construcción y ensamblaje

Explicado el proceso de selección de materiales, a continuación, se presenta como se llevó a cabo la construcción del programador y del sistema de tuberías.

4.9.1. Programador

El programador está conformado de dos cajas, una se encarga de la parte de control y la otra de potencia; cada una de estas cajas cuenta con una prensa estopa, la de control es una salida para el sensor de humedad y la caja de potencia se trata de la alimentación de las electroválvulas. Hay que mencionar que, ambas cajas IP65 de 175x110x66 mm.

4.9.1.1. Caja con el sistema de control

En la Fig. 17 se observa la ubicación de los elementos y en la Tabla 21 se describen cada uno de ellos.

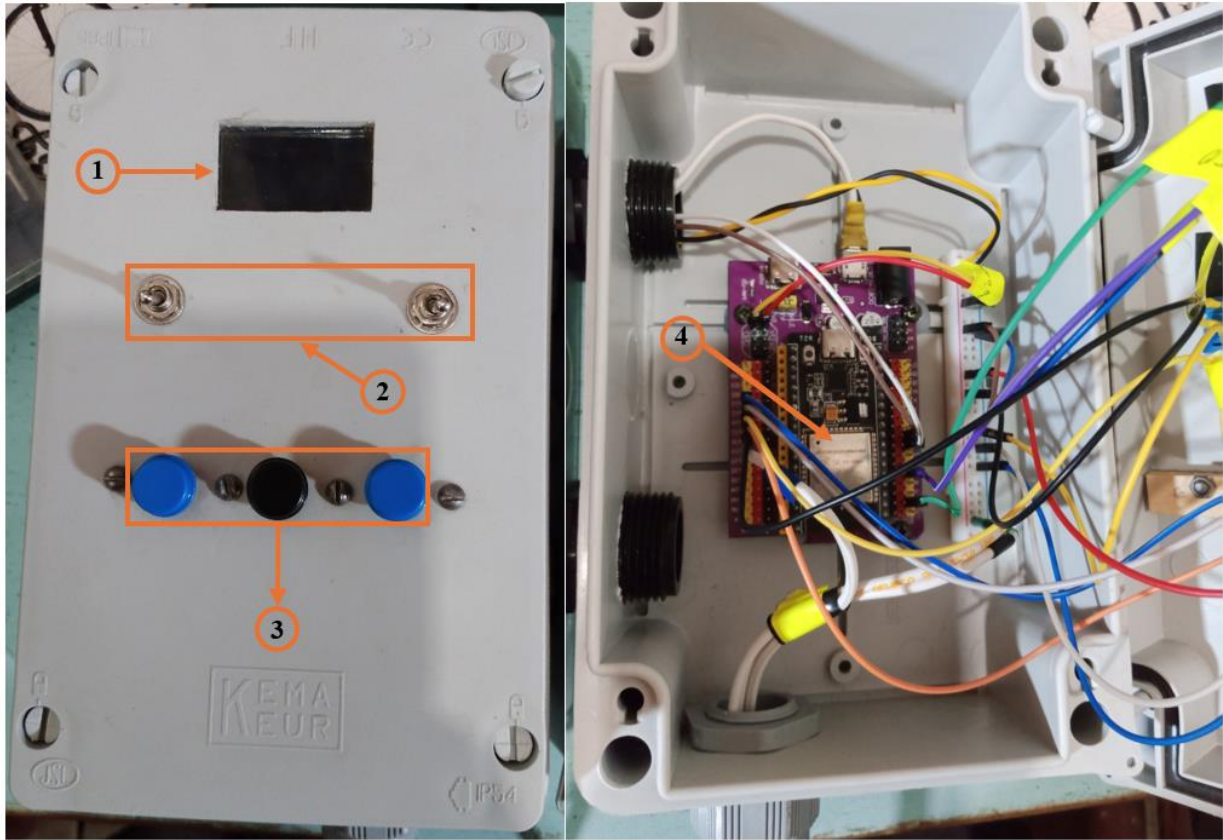


Fig. 17 Ubicación de los elementos de la caja de control

Tabla 21 Elementos de la caja de control

Elemento	Descripción
1	Pantalla Oled
2	Selectores
3	Botones
4	ESP32

4.9.1.2. Caja de componentes de potencia

Esta caja se encarga de alimentar al microcontrolador, relés y electroválvulas. La alimentación de entrada son 12 V DC los cuales serán dirigidos a la salida hacia las electroválvulas, además, se debe reducir a 5 V DC para alimentar tanto el módulo de relés. Los elementos que conforman la caja de potencia se muestran en la Fig. 18 y descritos en la Tabla 22.

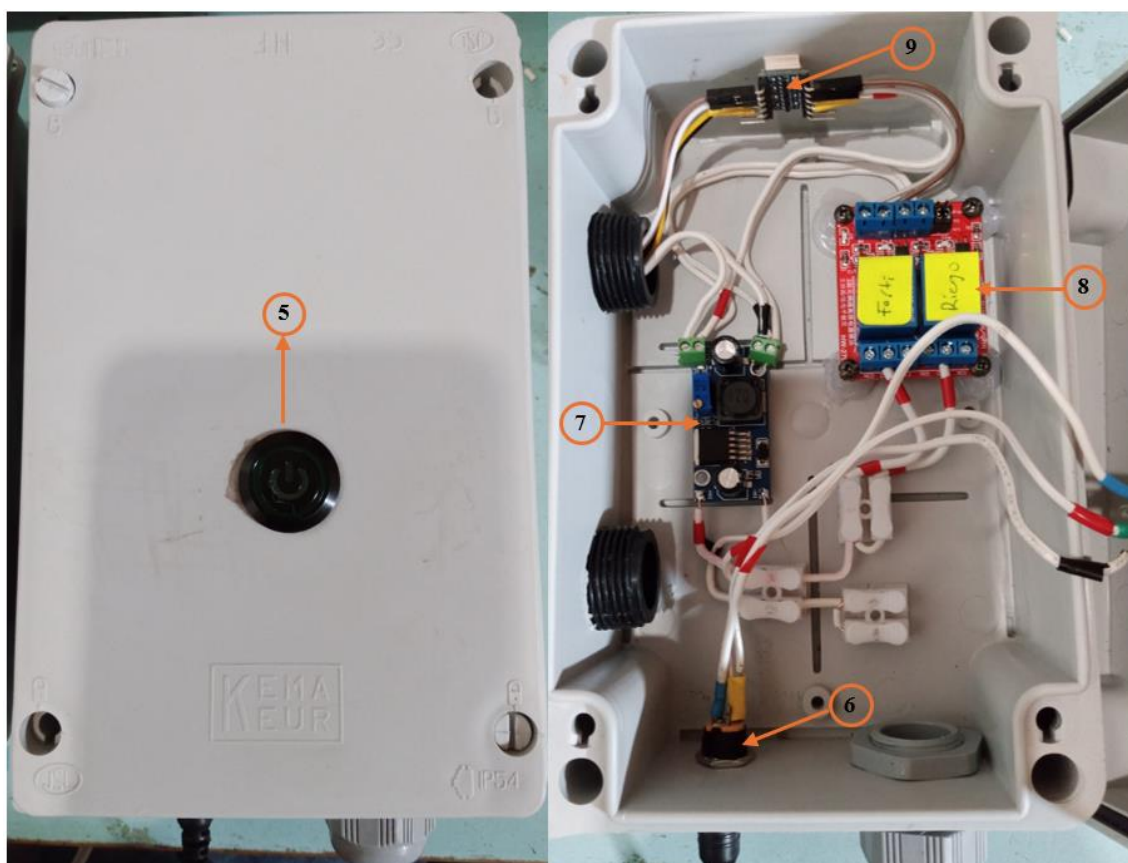


Fig. 18 Ubicación de los elementos de la caja de potencia

Tabla 22. Elementos de la caja de potencia

Elemento	Descripción
5	Botón de encendido
6	Jack de alimentación
7	LM2596
8	Relé 2 canales
9	Conversor lógico digital

Para más información acerca del programador, consulte el anexo C.

4.9.2. Sistema de tuberías

Para el armado del sistema de fertirriego, de acuerdo con el esquema mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es necesarios diversos elementos y accesorios. La ubicación de los elementos se muestra en la Fig. 19 y descritos en la Tabla 23.

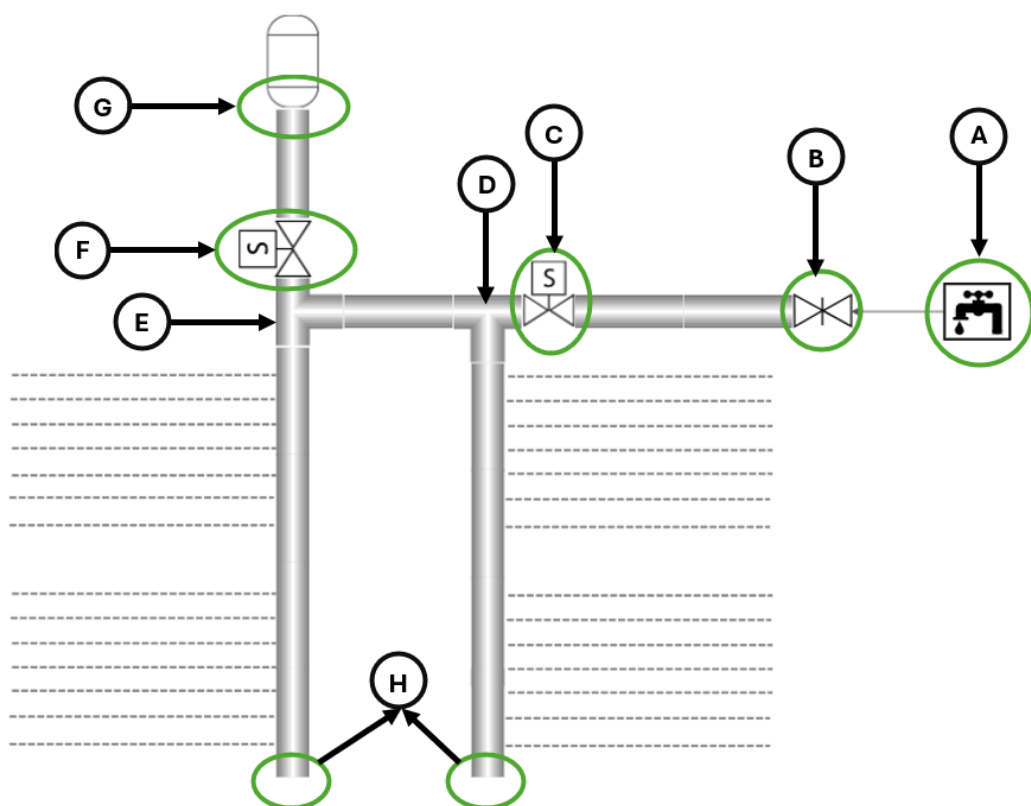


Fig. 19 Ubicación de los elementos de tubería

Tabla 23. Componentes del sistema de fertirriego

Zona	Elementos	Descripción	Imagen
A	Bush, unión roscada, adaptador	Ingreso de agua	Ver Fig. 20
B	Llave de paso, adaptador	Regulación de presión	Ver Fig. 21
C	Bush, adaptador, electroválvula	Paso de agua	Ver Fig. 22
D	Tee, adaptador, neplo	Derivación	Ver Fig. 22
E	Tee, adaptador, neplo	Derivación	Ver Fig. 23
F	Bush, adaptador, electroválvula	Paso de fertilizante	Ver Fig. 23
G	Unión roscada, Bush, adaptador	Ingreso de tanque	Ver Fig. 24
H	Tapón, adaptador	Fin de tubería	Ver Fig. 25



Fig. 20 Instalación de zona A



Fig. 21 Instalación de zona B



Fig. 22 Instalación de zona C y D



Fig. 23 Instalación de zona E y F



Fig. 24 Instalación de zona G



Fig. 25 Instalación de zona H

Cada una de las zonas cuenta con un par de abrazaderas, para evitar que el sistema no ceda por el paso flujo y se mantenga unido.

4.10. Pruebas de funcionamiento

Al terminar tanto el sistema de tuberías como del programador, se realizan pruebas individuales de cada uno de los subsistemas para corroborar la puesta en marcha antes de realizar una prueba general del sistema de fertirriego.

4.10.1. Pruebas del programador

Se realizan diversas pruebas para constatar el funcionamiento del programador, desde el encendido del mismo hasta la visualización de la información de la pantalla.

4.10.1.1. Prueba de encendido

Objetivo de la prueba: Visualizar el encendido del programador

Materiales: Programador, botón de encendido, fuente de alimentación 12 V DC.

Procedimiento:

Paso 1: Conectar la fuente de alimentación al programador

Paso 2: Presionar el botón de encendido

Paso 3: Observar si el botón se torna verde

Paso 4: Dejar encendido durante 1 hora

Resultado: El botón se mantuvo encendido 1 hora (Ver Fig. 26).



Fig. 26 Encendido de programador

4.10.1.2. Prueba de pantalla

Objetivo de la prueba: Observar pantallas de carga

Materiales: Programador encendido

Procedimiento:

Paso 1: Observar pantalla de carga 1 con duración de 5 segundos

Paso 2: Observar pantalla de carga 2 con duración de 5 segundos

Resultado: La pantalla de carga 1 muestra una imagen referencial al trabajo. La pantalla de carga 2 muestra un logo con el nombre del autor (ver Fig. 27).

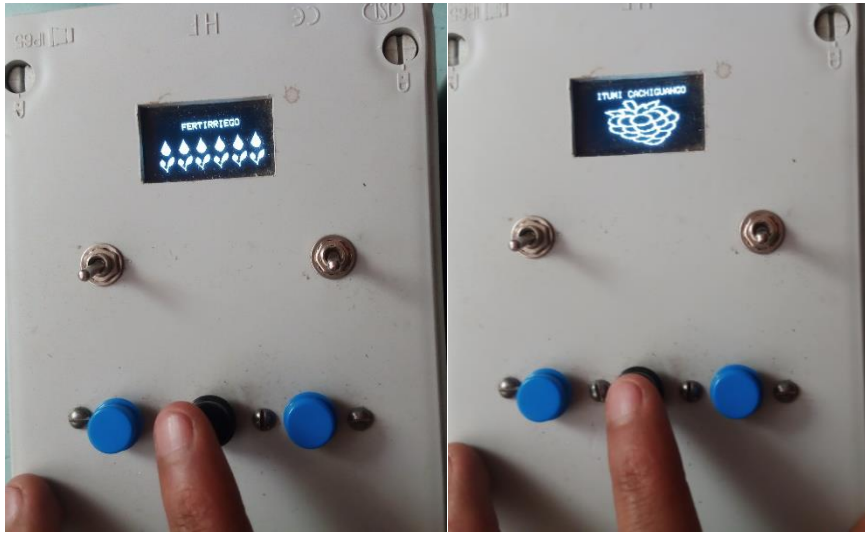


Fig. 27 Iniciando pantalla

4.10.1.3. Prueba de modos

Objetivo: Visualizar el modo activo (tempo o auto)

Materiales: Programador encendido, selector modo (izquierdo)

Procedimiento:

Paso 1: Observar pantalla.

Paso 2: Posicionar el selector hacia arriba o abajo.

Paso 3: Observar cambios en la pantalla.

Resultado: El selector posicionado hacia arriba indica AUTO. Selector posicionado hacia abajo indica TEMPO (Ver Fig. 28).



Fig. 28 Modos de funcionamiento

4.10.1.4. Prueba de modalidad

Objetivo de la prueba: Observar modalidad activa

Materiales: Programador encendido, selector modalidad (derecho)

Procedimiento:

Paso 1: Observar pantalla.

Paso 2: Posicionar el selector hacia arriba o abajo.

Paso 3: Observar cambios en la pantalla.

Resultado: El selector posicionado hacia arriba indica RIEGO. Selector posicionado hacia abajo indica FERTI (Ver Fig. 29).



Fig. 29 Modalidad de funcionamiento

4.10.1.5. Prueba de sensor humedad

Objetivo de la prueba:

Materiales: Programador encendido, vaso con agua, sensor de humedad

Procedimiento:

Paso 1: En un recipiente, llenarlo hasta 7 cm de altura de agua.

Paso 2: Introducir lentamente el sensor en el recipiente y observar pantalla.

Paso 3: Retirar lentamente sensor del recipiente observar pantalla.

Resultado: Cuando el sensor se introduce, el valor de la humedad aumenta, si se retira el sensor, el valor de la humedad disminuye (Ver Fig. 30).



Fig. 30 Sensado de humedad

4.10.1.6. Prueba de programación de riego

Objetivo de la prueba: Programar un riego

Materiales: Programador encendido, selector modalidad, botones

Procedimiento:

Paso 1: Posicionar el selector modalidad en riego

Paso 2: Programar un riego de 1 hora con 2 minutos (Véase Programar riego en el manual de usuario).

Paso 3: Accionar riego.

Resultado: Una cuenta regresiva se inicia en la caja de control, además, el relé riego se enciende en la caja de potencia (Ver Fig. 31).

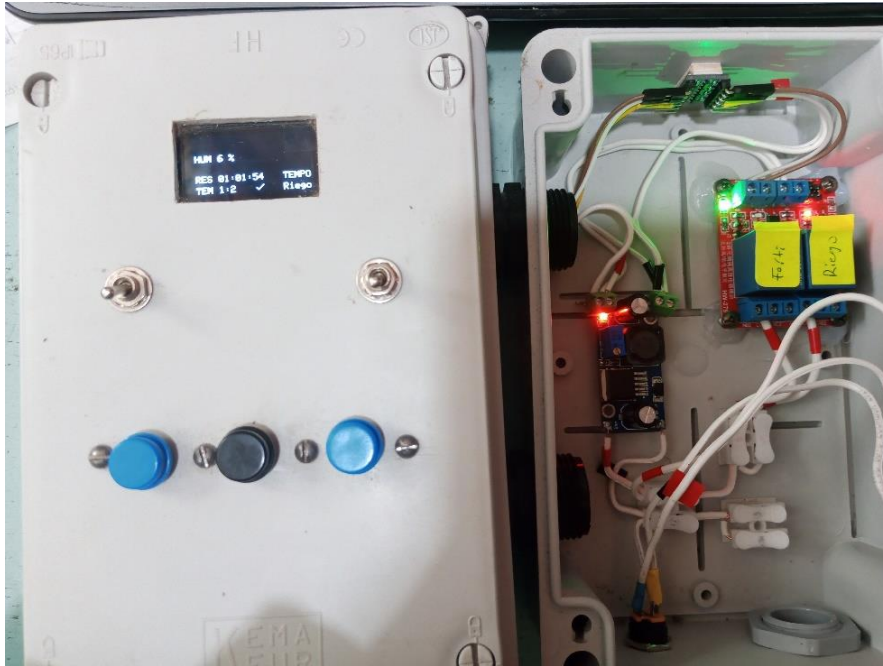


Fig. 31 Programación de riego

4.10.1.7. Prueba de rangos de humedad

Objetivo de la prueba: Ingresar límite mínimo y máximo de humedad

Materiales: Programador encendido, selector modo, botones

Paso 1: Posicionar el selector modo FERTI.

Paso 2: Establecer mínimo en 43 y máximo en 72 (Véase Configurar riego/fertirriego automático en el manual de usuario).

Paso 3: Guardar cambios

Resultado: En la pantalla se observa el nuevo rango establecido (Ver Fig. 32).

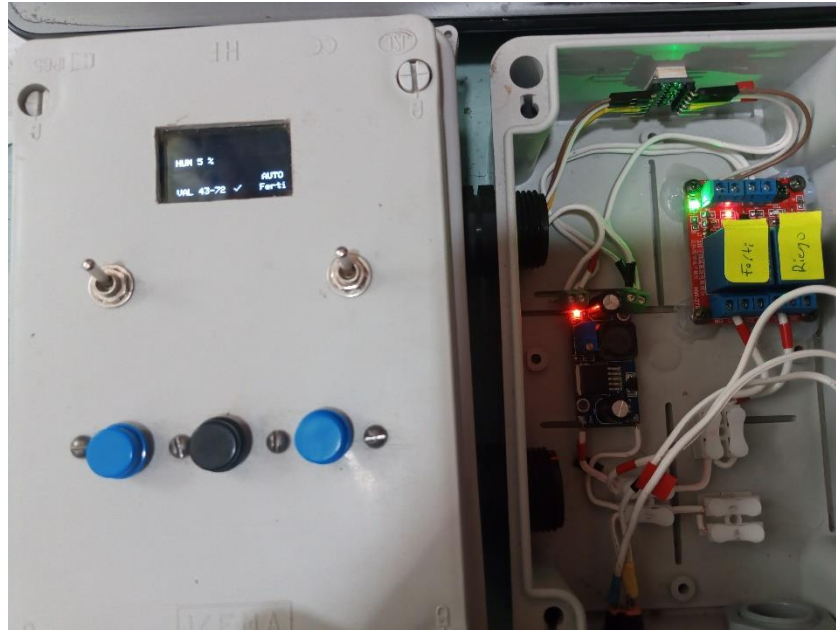


Fig. 32 Rangos de humedad

4.10.1.8. Prueba de detección de lluvia

Objetivo de la prueba: Visualizar la presencia de lluvia

Materiales: Programador encendido, sensor de humedad, recipiente con agua

Procedimiento:

Paso 1: En un recipiente con agua, introducir el sensor de humedad.

Paso 2: Dejar reposar 5 segundos.

Paso 3: Observar pantalla.

Resultado: El porcentaje de humedad incrementa hasta 93. El símbolo visto cambia a prohibido, asimismo, en la esquina superior se muestra un icono de lluvia (Ver Fig. 33).



Fig. 33 Detección de lluvia

4.10.2. Pruebas del sistema de tuberías

Estas pruebas consisten en verificar el funcionamiento del sistema de tuberías.

4.10.2.1. Pruebas de fugas

Consiste en verificar que no existan filtraciones de agua a través de las tuberías. Para comenzar, hay que hacer circular agua, con ello se realiza una inspección visual en todo el sistema de tuberías, en los elementos de unión, electroválvulas, válvulas y apertura de agua. Al no observar goteo en ninguno sector, se da por cumplida a prueba.

4.10.2.2. Prueba de circulación de agua o solución nutritiva

Para comprobar esta prueba doble, primero se procede a abrir la llave principal de agua para que circule por la tubería y termine al final de la línea principal. El caso de la solución se sigue la misma instrucción (Ver Fig. 34).



Fig. 34 Salida a los goteros

4.10.2.3. Prueba de goteo de cintas

Las electroválvulas necesitan al menos 2 mca de presión para permitir el paso. Si las cintas comienzan a gotear quiere decir que no hay problemas este apartado, como se muestra en la Fig. 35.



Fig. 35 Goteo de las cintillas

4.10.3. *Pruebas generales*

Una vez terminadas las pruebas individuales, se realiza una prueba del funcionamiento en conjunto, como la lectura del sensor de humedad, la programación de un riego y el goteo en la parcela (Ver Fig. 36).



Fig. 36 Prueba general en campo

4.11. Validación con un cultivo de ciclo corto

Consiste en contrastar el uso de técnicas convencionales de cultivo con respecto al uso del programador aplicadas a un cultivo de ciclo rápido, en este caso, lechugas. Para la comparativa se cultivan 100 plantas de lechugas, la mitad se realizará riego y fertilización de manera manual, mientras que la otra mitad mediante el programador, como se muestra en la Fig. 37.



Fig. 37 Cultivo de plantas para comparativa

En la Fig. 38 se observa el riego en ambos cultivos, en el caso de las cintillas hasta que se registre 90% de humedad; mientras que, de manera convencional, hasta humedecer cada una de las plantas.



Fig. 38 Riego por goteo y convencional

Durante el tiempo de crecimiento de las áreas cultivadas se recopila información acerca de los recursos empleados con ello, comparar el rendimiento en ambos casos.

4.11.1. Riego

Los momentos de riego, con el programador fueron detectados en modalidad automática, mientras que, de manera convencional, se realiza una inspección visual y manual para determinar la humedad del suelo.

La evaluación se divide en dos, un análisis mensual, a causa de las constantes lluvia de este periodo, en el cual el programador no realizó ningún riego. En la Fig. 39 se muestra el porcentaje de humedad registrado. Puede observarse que la humedad estuvo comprendida entre 70 y 93 %, debido a la temporada de invierno.

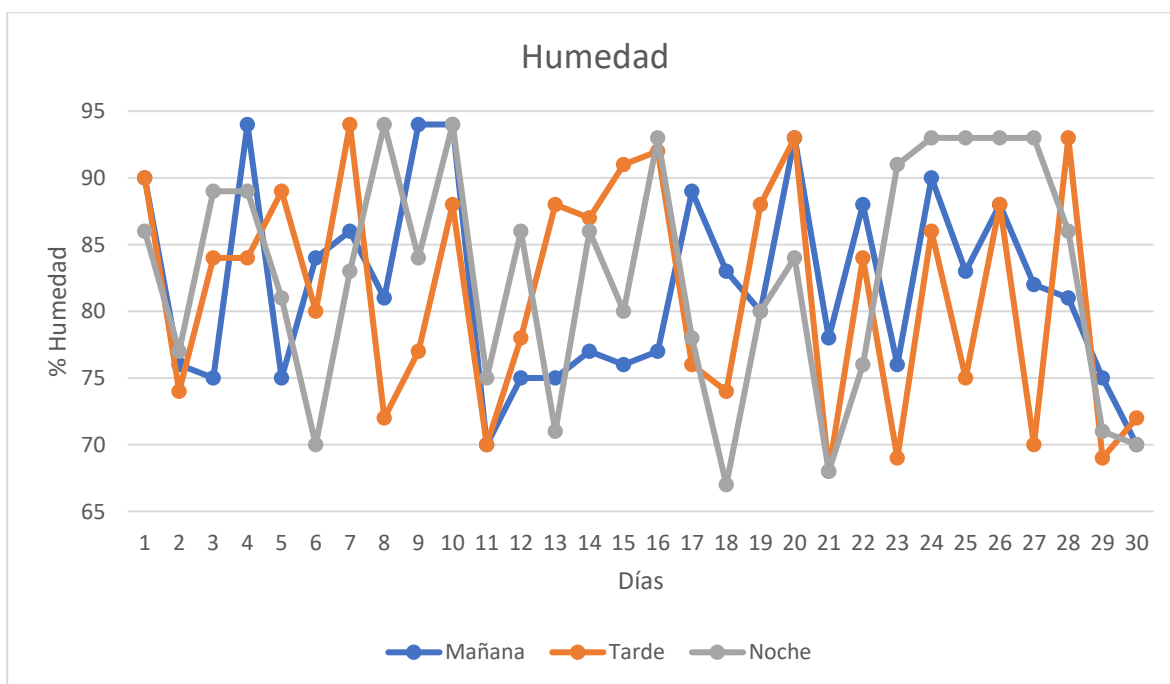


Fig. 39 Análisis de humedad 1

La parte dos del análisis ocurre luego de la temporada de lluvia, en el cual, se registra el porcentaje de humedad en las condiciones esperadas. La Fig. 40 muestra dicho registro. Se observa que la humedad estuvo comprendida entre 50 y 90 %. Esto debido a que en este periodo ya había desaparecido la temporada del invierno.

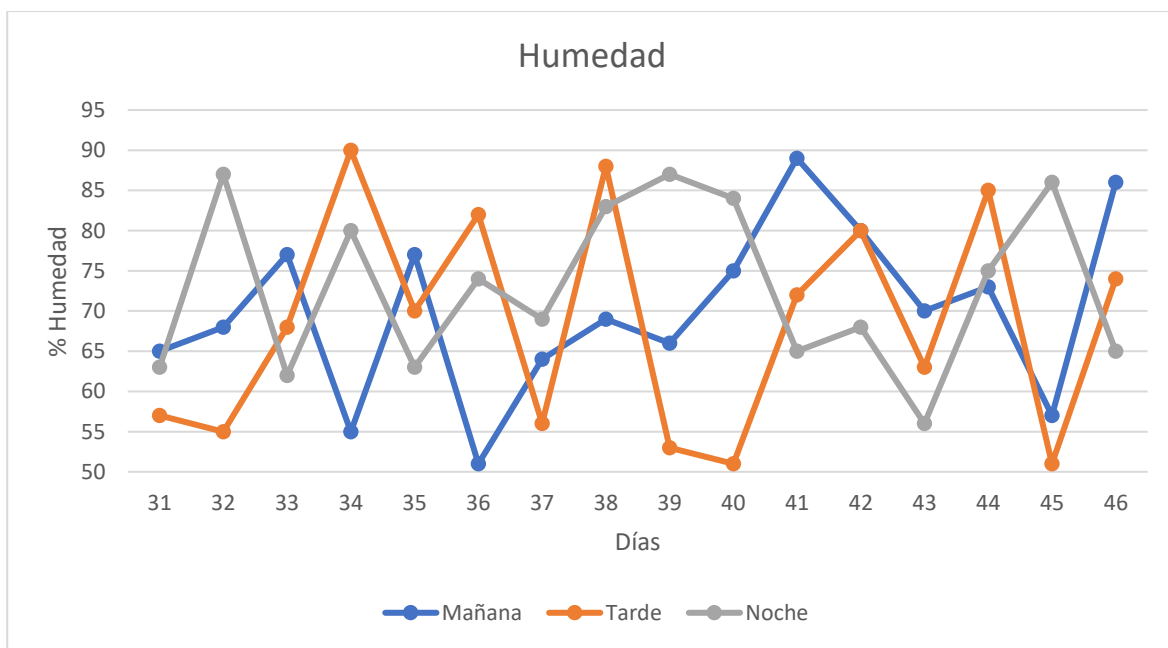


Fig. 40 Análisis de humedad 2

4.11.2. Fertilización

En el caso de la fertilización, de manera convencional se aplica compost seco alrededor de las plantas, además de añadir agua; en el caso del programador, se realiza de manera temporizada. Dicho proceso se realiza una vez a la semana. Los resultados se presentan en las tablas Tabla 24 y Tabla 25.

Tabla 24. Recursos usados con el programador

Semana	Programador	
	Tiempo (min)	Volumen (L)
1	15	55
2	15	55
3	15	55
4	15	55
5	15	55
6	15	55
7	15	55

Tabla 25. Recursos usados con método convencional

Semana	Tiempo (min)	Convencional	
		Volumen	
		Compost (kg)	Agua (L)
1	5	0,5	3
2	4,5	0,45	3
3	5	0,5	3
4	6,5	0,5	4,5
5	10	1,1	5
6	13	1,4	6,5
7	16	1,8	8

4.11.3. Crecimiento de cultivo

En la Tabla 26 se muestra las características observadas durante el tiempo de crecimiento.

Tabla 26. Crecimiento semanal de las lechugas

Semana	Características	Imagen
1	Sin crecimiento, desarrollo de raíces	Véase Fig. 41
2	Aumento de número de hojas, leve alargamiento y ensanchamiento en la planta.	Véase Fig. 42
3	Aumento de altura o anchura, leve crecimiento en las hojas	Véase Fig. 43
4	Formación de un bulbo, presencia de nuevas hojas, alargamiento y ensanchamiento de hojas exteriores.	Véase Fig. 44
5	Hojas internas, crecen tanto hasta rodear la parte central de la lechuga.	Véase Fig. 45
6	Apto para cosecha	Véase Fig. 46

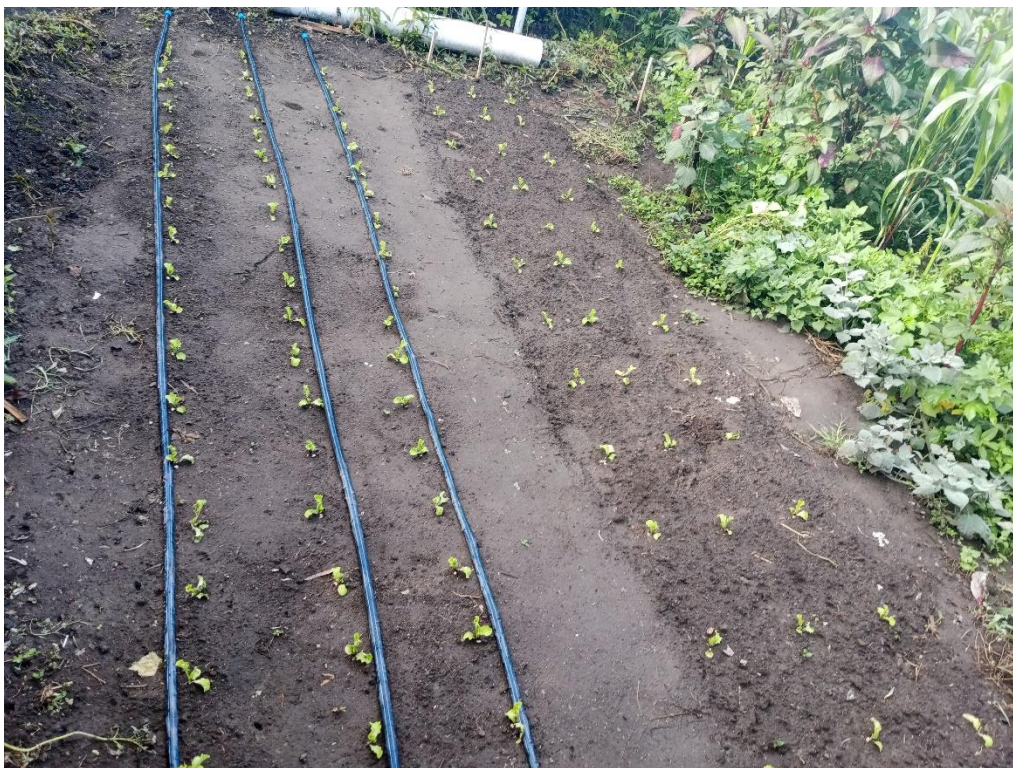


Fig. 41 Lechugas tras 1 semana

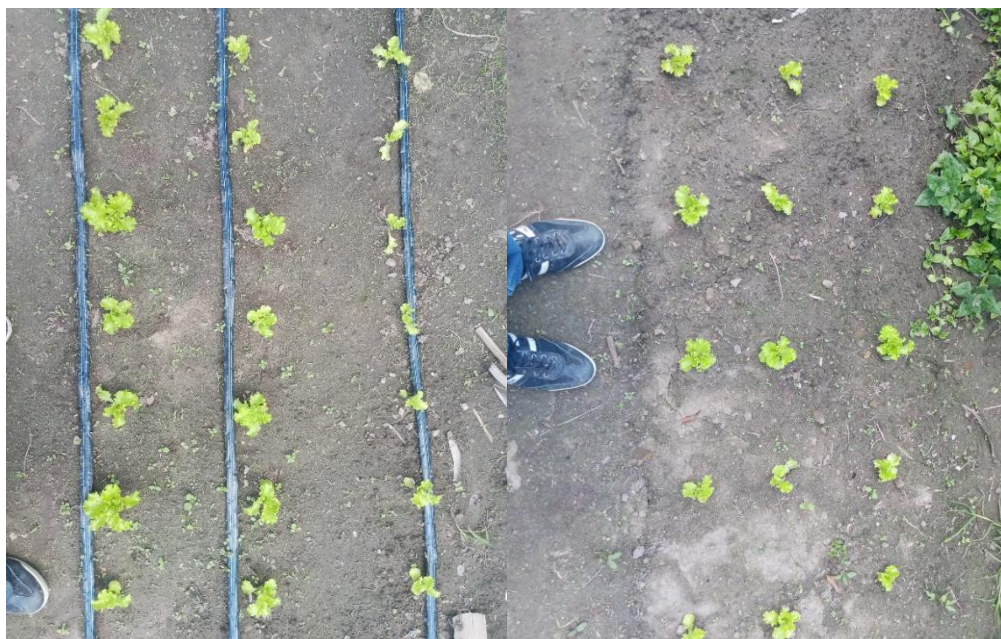


Fig. 42 Lechugas tras 2 semanas

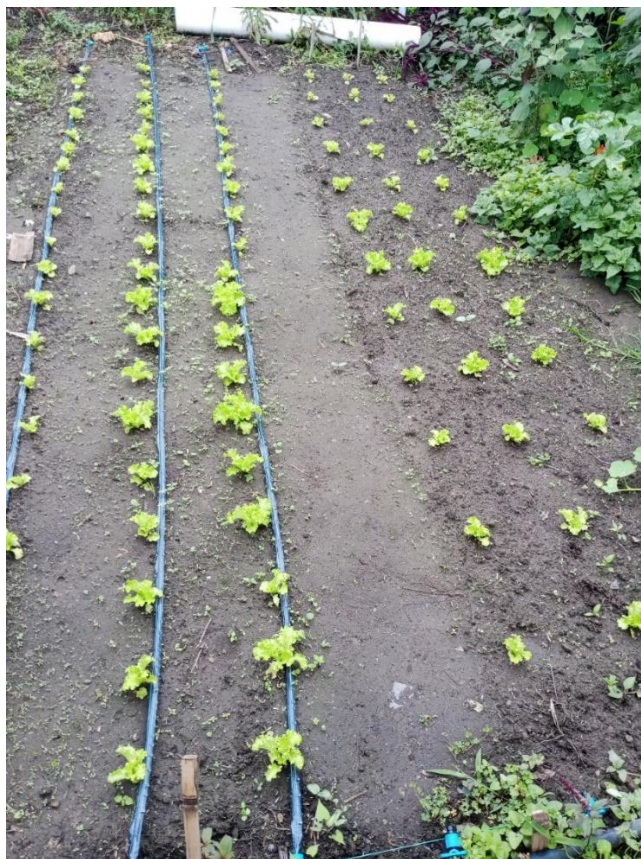


Fig. 43 Lechugas tras 3 semanas



Fig. 44 Lechugas tras 4 semanas

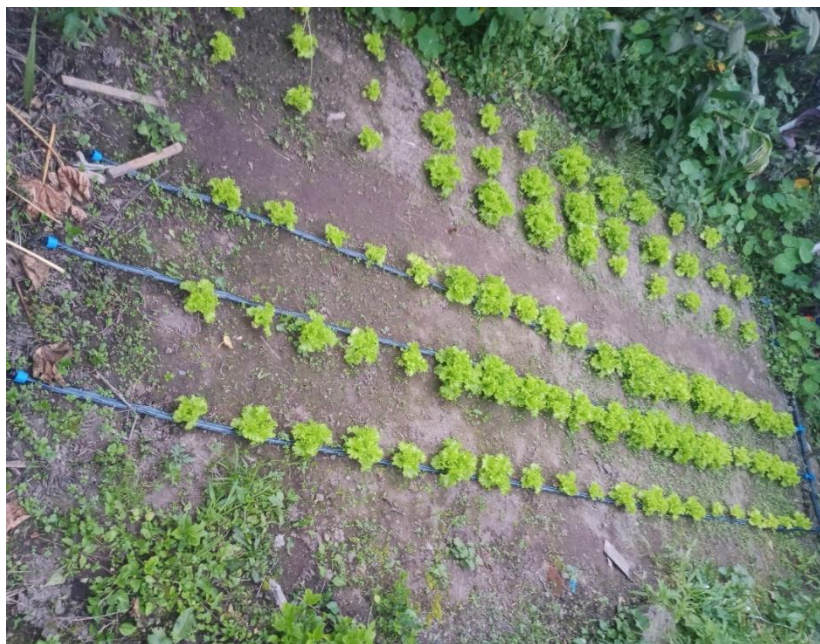


Fig. 45 Lechugas tras 5 semanas



Fig. 46 Lechugas tras 6 semanas

La Fig. 47 muestra las lechugas, las cuales, mejores resultados presentaron; siendo 26x17 cm y 22 hojas en el caso del sistema automático y 25x15 cm y 17 hojas para el método convencional.

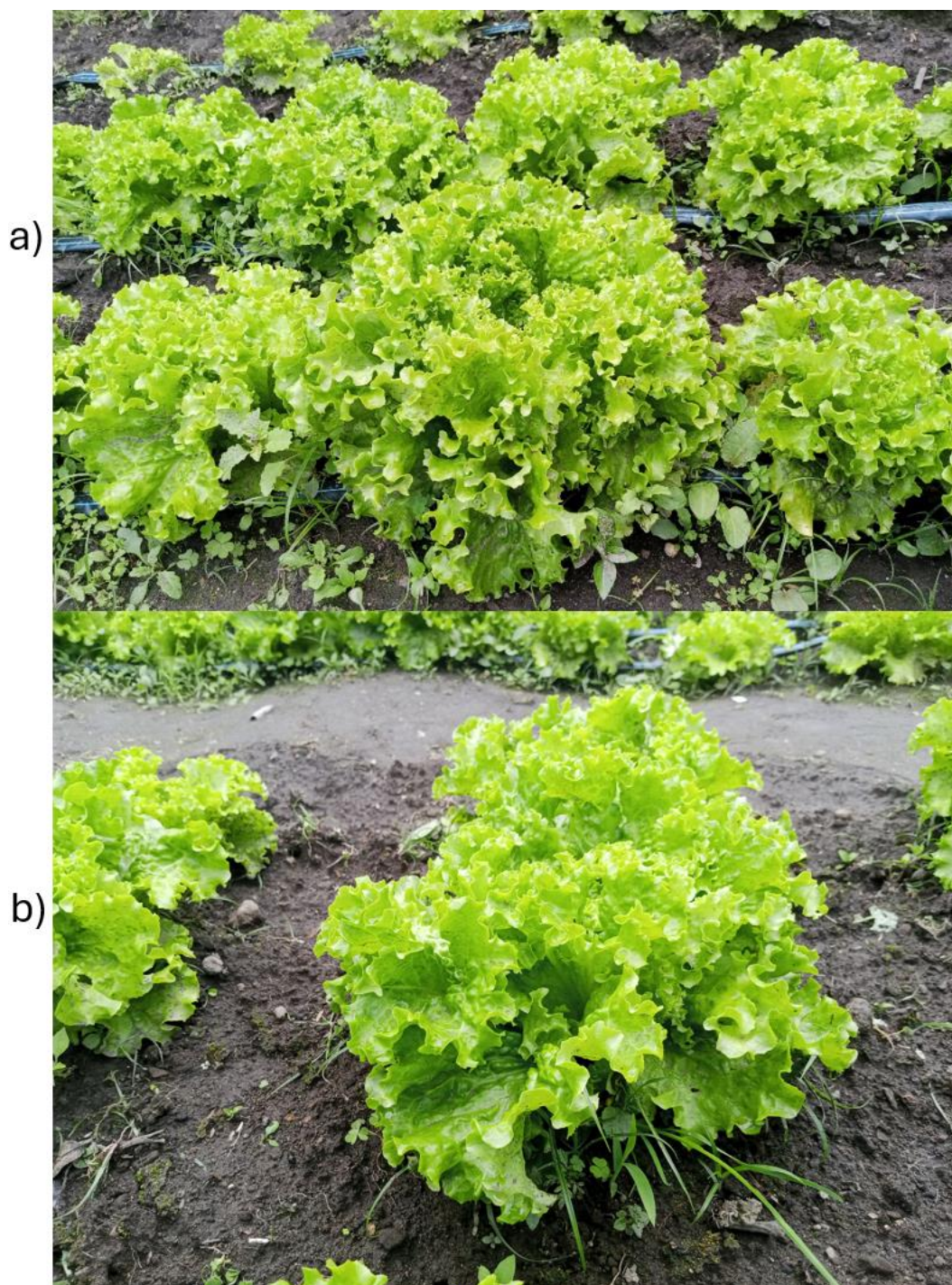


Fig. 47 Lechugas de mayor tamaño. (a) por goteo; (b) convencional

4.11.4. Rendimiento

De las 100 plantas cultivadas, el análisis se realiza con 96 plantas. Trascurridos 45 días culmina el ciclo de crecimiento, con ello se evalúa su rendimiento mediante la medición del diámetro, altura y el número de hojas de las lechugas.

4.11.4.1. Diámetro

En la Fig. 48 se muestran las mediciones realizadas, se observa que las lechugas con métodos convencionales tienen más presencia en tamaños pequeños y medianos, mientras que el uso del sistema destaca en tamaños grandes, además de obtener la lechuga con mayor diámetro con 26 cm. El diámetro promedio de las lechugas mediante métodos convencionales es de 16.875 cm frente a los 17.145 cm obtenidos con el sistema automatizado.

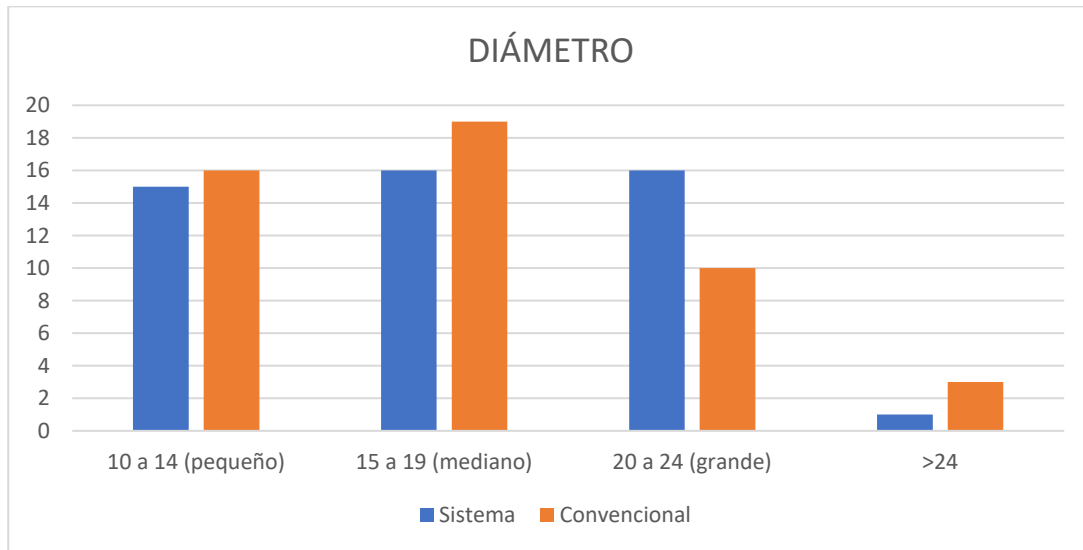


Fig. 48 Comparativa de diámetros

4.11.4.2. Altura

En el caso de la altura, la información presentada por la Fig. 49 indica que, mediante técnicas convencionales, las lechugas presentan tamaños pequeños, medio-pequeños y altos, mientras que con el sistema de fertirriego tiene mayor presencia en altos, del mismo modo, una lechuga de mayor altura con 17 cm. Además, en promedio el sistema muestra 10,78 cm, frente a los 10,31 cm del método convencional.

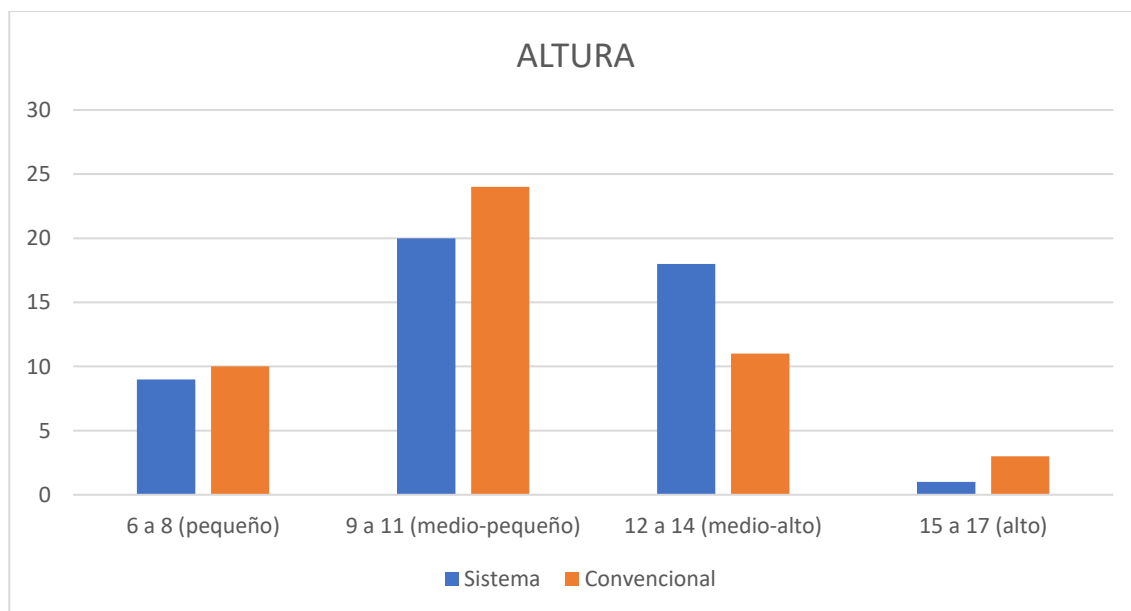


Fig. 49 Comparación de la altura

4.11.4.3. Número de hojas

De acuerdo con la Fig. 50 en este apartado el sistema de fertirriego presenta similitudes con respecto al uso de métodos convencionales, debido a que, en las categorías 7 a 10 y 11 a 14, la diferencia es de una planta en ambos casos y, en las categorías 15 a 18 y 19 a 22 es de 2 plantas. Aun así, en promedio obtuvieron 12,4 hojas y 11,8 hojas respectivamente.

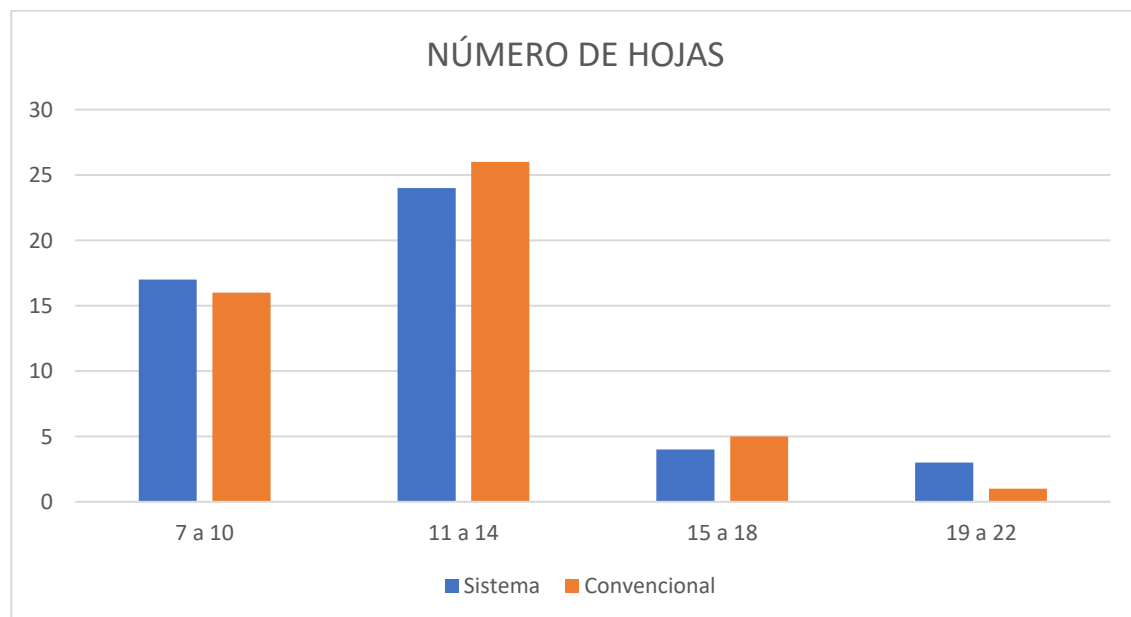


Fig. 50 Conteo del número de hojas

4.12. Presupuesto

Se detalla el costo del sistema de fertiirrigación dentro de la Tabla 27 y Tabla 28.

Tabla 27. Costos del programador

Programador			
Producto	Cantidad	P. unitario (USD)	Total (USD)
Esp32	1	12,00	12,00
Oled 128x64	1	7,00	7,00
Botones	3	0,85	2,55
Selector	2	0,60	1,20
Caja IP64	1	6,75	13,50
Placa	1	5,50	5,50
Borneras	5	0,20	1,00
Protoboard	1	2,50	2,50
Conector Jack Dc	1	2,00	2,00
Sensor de humedad capacitivo	1	3,75	3,75
Relé de 2 canales	1	5,50	5,50
Regulador de voltaje Lm2596	1	5,00	5,00
Terminal plano	2	0,10	0,20
Conversor de nivel digital	1	1,50	1,50
Cable awg 20	5 m	0,30	1,50
Prensa estopa pg16	2	0,90	1,80
Jumpers	40	0,10	4,00
Conector micro usb	1	1,00	1,00
Total			71,50

Tabla 28. Costos del sistema de tuberías

Sistema de tuberías			
Producto	Cantidad	P.unitario (USD)	Total (USD)
Tubería 1"	30	0,45	13,5
Rollo cintilla 16 mm	1	17,45	17,45
Tapón roscado	2	0,45	0,9
Válvula cinta-manguera	28	0,68	19,04
Fin de línea	28	0,16	4,48
Abrazadera	11	0,50	5,50
Unión roscada 1"	6 m	0,60	3,60
Llave de paso 1"	1	1,80	1,80

T roscada 1"	2	1,05	2,10
Adaptador flex 1"	9	0,50	4,50
Neplo 1"	3	0,45	1,350
Adaptador tanque 1"	1	3,80	3,80
Reductor (bushing) 1/2" - 1"	5	0,40	2,00
Electroválvula	2	10,00	20,00
Total			100,02

CONCLUSIONES

- Se identificaron los requerimientos de agua y fertilización para las fresas y las lechugas. En el caso del proyecto cada una de las zonas consumen 13,75 L de manera semanal.
- Se diseñó el sistema automático que distribuye el agua y fertilizante para las fresas y lechugas de la siguiente manera: Se seleccionó un cultivo de ciclo corto, se diseñó y construyó un programador de fertirriego y el sistema de tuberías. Seguidamente se realizaron pruebas individuales, en conjunto y una general para descartar fallos. Finalmente se comprobó que el sistema controla el proceso.
- Se implementó el sistema de riego en un espacio de 4x1,8 m, donde se sembraron 100 plantas. Se observó que el sistema fue eficiente ya que el tanque con la solución nutritiva se consumía en un tiempo de 15 minutos, dato previamente determinado.
- Se validó el funcionamiento de la propuesta mediante la evaluación de rendimiento del cultivo de lechugas, registrando diámetro, altura y número de hojas. Se evidencia que la solución resolvió el problema planteado donde los mejores resultados registrados de diámetro, altura y número de hojas provienen del uso del sistema, con una lechuga con dimensiones de 26x17 cm y 22 hojas totales en comparación del método convencional, obteniendo dimensiones 25x15 cm y 17 hojas.

RECOMENDACIONES

- Para un correcto diseño se necesita una visita de campo para conocer la situación de la parcela y aprovecharla.
- Al contar con una ESP32, el proyecto puede extrapolarse a aplicaciones IOT.
- Se pueden añadir más sensores para expandirlas funcionalidades del programador
- Luego de usar dos veces el tanque de fertilizante, se recomienda purgar el sistema, para evitar taponamiento en las cintillas.
- Añadir la creación de perfiles para gestionar varios cultivos con diferentes criterios.

REFERENCIAS

- [1] INEC, “Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales,” 2022.
- [2] Y. Valencia Villegas and Y. Sepúlveda Casadiego, “Implementación de sensores en los sistemas de riego automatizado,” 2019. doi: <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.3417>.
- [3] L. Velázquez Vásquez, J. M. Barrios Díaz, B. Barrios Díaz, F. Vázquez Cruz, G. J. Pérez Marroquín, and P. Zaldívar Martínez, “Sensores de humedad del suelo en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) con riego por goteo,” in *Sexto Congreso Nacional de Riego, drenaje y biosistemas*, 2021.
- [4] E. Ramirez and J. Vergara, “Sistema de riego automatizado en IOT utilizando variables ambientales para cultivos de berenjenas en la finca La Esperanza del Municipio Chinú-Cordoba,” 2020.
- [5] P. Zapatera Rodríguez, “Sistema de riego automatizado para pequeñas instalaciones,” Universidad de Valladolid, 2022.
- [6] O. D. Navarro Pérez, “Diseño de un huerto urbano inteligente y autónomo,” Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid, 2021.
- [7] L. A. Mata Hernández, “Evaluación de té de composta y microorganismos promotores de crecimiento vegetal en un cultivo de espinaca,” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2019.
- [8] R. V. Marquez Espinosa, “Rendimiento de perejil (*petroselinum crispum* mill) con tres niveles de biol y dos sistemas de siembra en riego por goteo en la irrigación majes,” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
- [9] E. S. Leguizamón, *Historia de la horticultura*, INTA. 2018.
- [10] A. L. Díaz Aguilar and M. J. Sánchez, “Huertos urbanos: Hábitos alimentarios y corporalidades,” in *Sociología de la alimentación, alimentación en sociedad: fundamentos para el estudio de un hecho social total*, 2022, pp. 81–96.
- [11] A. M. Bartolomé, D. Benito, and B. Urbano, “La agricultura urbana en el cambio de paradigma del sistema alimentario,” 2021.
- [12] L. Sevilla Sánchez, “Huertos urbanos y salud: Riesgos y beneficios,” Universidad de Alcalá, 2023.

- [13] A. Chavarría Vidal, *Fundamentos teóricos de relación suelo-agua-planta*. Honduras: Universidad Nacional de Ciencias Forestales, 2017.
- [14] J. Carrazón Alocén, *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. 2007.
- [15] R. Fernández Gómez, *Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado*. Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía, 2010.
- [16] H. Y. Rojas Picado, “Diseño de un sistema de riego por goteo para hortalizas en ocho invernaderos, Páramo, Pérez Zeledón,” Tecnológico de Costa Rica, 2021.
- [17] Y. D. Rivera Méndez and H. M. Romero Ángulo, “Los mitos ambientales de la palma de aceite,” vol. 39, no. 4, pp. 58–68, 2018.
- [18] J. A. Moya Talens, *Manual básico de cultivo localizado. Riego y fertirriego*. Ediciones Mundi-Prensa, 2017.
- [19] I. Vidal, *Fertirrigación: Desde la teoría a la práctica*, 1ra ed. Editorial Universidad de Concepción, 2019.
- [20] M. A. Bello and M. T. Pino, *Metodologías de fertirrigación*. INIA, 2000.
- [21] U. Kafkafi and J. Tarchitzky, *Fertirrigación. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua*, 1st ed. 2012.
- [22] Hunter, *Catálogo de productos*, vol. 40. 2023. Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/Hunter_Catalog_ES.pdf
- [23] Ricentsa, *Controladores de riego*. Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: <https://centroderiego.com/catalogo/controladores>
- [24] Rivirus, “Catálogo de fertirrigador.” Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: https://www.rivulis.com/products/fertigation-and-automation/automated-fertigation-injection-systems/RIV_BR_C3300-C4300_Spanish_Metric_20240704_WEB.pdf
- [25] Irritec, “Catálogo de automoción y fertirrigación.” Accessed: Sep. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.irritec.com/Documents/Catalogues%20and%20Price%20Lists/Catalogues/ES/Catalogo%20de%20automacion%20y%20fertirrigacion%202019.pdf>
- [26] J. Moreno Casco and R. Moral Herrero, *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, 2008.
- [27] M. J. Delgado Zambrano and C. L. García Mera, “Contenido nutricional del compost a partir de residuos agropecuarios en la ESPAM MFL,” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ, 2023.

- [28] M. T. C. Mac Donnell, “Producción, aplicación y beneficios de los extractos acuosos del compostaje (té de compost),” Universidad Nacional Del Litoral, Santa Fé, 2018.
- [29] R. Pérez, M. Morales, M. A. Gómez, M. B. Suárez, A. I. González, and J. Herrero, “Efecto de la aplicación de té de compost de residuos de jardinería (con y sin enriquecimiento microbiano) en el cultivo de patata,” in *Jornadas Red Española de compostaje*, Universidad de Salamanca, 2022, pp. 331–334.
- [30] G. Guerrero and M. C. Guerrero, *Metodología de la investigación*, 2nd ed. 2020.
- [31] P. I. Vizcaíno Zúñiga, R. J. Cedeño Cedeño, and I. A. Maldonado Palacios, “Metodología de la investigación científica: guía práctica,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 4, pp. 9723–9762, Sep. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i4.7658.
- [32] J. Veiga de Cabo, E. De la Fuente Díez, and M. Zimmermann Verdejo, “Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño,” *Med Segur Trab (Madr)*, vol. 54, 2008.
- [33] J. Maxwell, *Diseño de investigación cualitativa*. 2013.
- [34] A. Ospina, D. Pedreros, and A. Garcia, “Criterios para la implementación del estandar v-model xt,” Universidad de San Buenaventura, 2014.
- [35] J. Sosa Savedra, M. Trejo Estrella, A. García García, J. Berceinas Sánchez, R. Velázquez González, and R. Hernández Tovar, “Implementación de la metodología V como eje de desarrollo de un tribómetro de perno en disco,” *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 11, no. Especial4, pp. 21–29, Nov. 2023.
- [36] R. Carr, “Preparación de té de compost,” 2020.
- [37] Central riego, “Catálogo y lista de precios.” Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://centralriego.cl/wp-content/uploads/2020/05/CATA%CC%81LOGO_CENTRAL_RIEGO_2020.pdf
- [38] e-Gizmo Mechatronix Central, “ZE-4F180: 12V Water Solenoid Valve.” Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: <https://c1555f5ec9.clvaw-cdnwnd.com/34662fcf1f1e607c561442431023ac8e/200007504-caba4cbb4b/ZE-4F180%2012V%20Water%20Solenoid%20Valve%20Datasheet.pdf>
- [39] Espressif, “ESP32 SERIES: DATASHEET.” Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

- [40] DisplayModule, “DM-OLED096-636 0.96” 128 X 64 MONOCHROME GRAPHIC OLED DISPLAY MODULE - I2C.” Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.snapeda.com/parts/DM-OLED096-636/Display%20Module/datasheet/>
- [41] DFROBOT, “Capacitive Soil Moisture Sensor SKU:SEN0193.” Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.snapeda.com/parts/SEN0193/OKdo/datasheet/>
- [42] Texas Instrument, “LM2596 SIMPLE SWITCHER.” Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1737439681770&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252Fes-mx%252FLM2596

ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS DE SUELO



L A B O N O R T

LABORATORIOS NORTE

Juan Hernández y Jaime Roldós (Entrada Mercado Mayorista) Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS																																																																																																																	
DATOS DE PROPIETARIO					DATOS DE LA PROPIEDAD																																																																																																												
Nombre: ITUMI CACHIGUANGO					Provincia: Imbabura																																																																																																												
Ciudad: Otavalo					Cantón: Otavalo																																																																																																												
Teléfono: 0980928698					Parroquia: Jordán																																																																																																												
Fax:					Sitio: Machangara																																																																																																												
DATOS DEL LOTE					DATOS DE LABORATORIO																																																																																																												
Sitio: Machangara					Nro Reporte.: 11308																																																																																																												
Superficie:					Tipo de Análisis: Completo más textura																																																																																																												
Número de Campo: Muestra 1					Muestra: Suelo, muestra 1																																																																																																												
Cultivo Actual:					Fecha de Ingreso: 2023-02-15																																																																																																												
A Cultivar: Hortalizas					Fecha de Reporte: 2023-02-23																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nutriente</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>INTERPRETACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td>57.60</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>101.10</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>5.00</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>1.26</td> <td>meq/100 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>13.12</td> <td>meq/100 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>1.95</td> <td>meq/100 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">BAJO MEDIO ALTO</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>2.95</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>6.31</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>126.75</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td>5.66</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">BAJO MEDIO ALTO</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.30</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">BAJO MEDIO ALTO TOXICO</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>7.16</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">0 Requiere Cal 5.5 6.5 7.0 7.5 8.0</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Acido Lig. Acido Pract. Neutro Lig. Alcalino Alcalino</td> </tr> <tr> <td>Acidez Int. (Al+H)</td> <td></td> <td>meq/100 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td></td> <td>meq/100 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Na</td> <td></td> <td>meq/100 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">BAJO MEDIO ALTO</td> </tr> <tr> <td>Ce</td> <td>0.390</td> <td>mS/cm</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">No Salino Lig. Salino Salino Muy Salino</td> </tr> <tr> <td>MO</td> <td>2.41</td> <td>%</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">BAJO MEDIO ALTO</td> </tr> </tbody> </table>										Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION	N	57.60	ppm		P	101.10	ppm		S	5.00	ppm		K	1.26	meq/100 ml		Ca	13.12	meq/100 ml		Mg	1.95	meq/100 ml		BAJO MEDIO ALTO				Zn	2.95	ppm		Cu	6.31	ppm		Fe	126.75	ppm		Mn	5.66	ppm		BAJO MEDIO ALTO				B	0.30	ppm		BAJO MEDIO ALTO TOXICO				pH	7.16			0 Requiere Cal 5.5 6.5 7.0 7.5 8.0				Acido Lig. Acido Pract. Neutro Lig. Alcalino Alcalino				Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml		Al		meq/100 ml		Na		meq/100 ml		BAJO MEDIO ALTO				Ce	0.390	mS/cm		No Salino Lig. Salino Salino Muy Salino				MO	2.41	%		BAJO MEDIO ALTO			
Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION																																																																																																														
N	57.60	ppm																																																																																																															
P	101.10	ppm																																																																																																															
S	5.00	ppm																																																																																																															
K	1.26	meq/100 ml																																																																																																															
Ca	13.12	meq/100 ml																																																																																																															
Mg	1.95	meq/100 ml																																																																																																															
BAJO MEDIO ALTO																																																																																																																	
Zn	2.95	ppm																																																																																																															
Cu	6.31	ppm																																																																																																															
Fe	126.75	ppm																																																																																																															
Mn	5.66	ppm																																																																																																															
BAJO MEDIO ALTO																																																																																																																	
B	0.30	ppm																																																																																																															
BAJO MEDIO ALTO TOXICO																																																																																																																	
pH	7.16																																																																																																																
0 Requiere Cal 5.5 6.5 7.0 7.5 8.0																																																																																																																	
Acido Lig. Acido Pract. Neutro Lig. Alcalino Alcalino																																																																																																																	
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml																																																																																																															
Al		meq/100 ml																																																																																																															
Na		meq/100 ml																																																																																																															
BAJO MEDIO ALTO																																																																																																																	
Ce	0.390	mS/cm																																																																																																															
No Salino Lig. Salino Salino Muy Salino																																																																																																																	
MO	2.41	%																																																																																																															
BAJO MEDIO ALTO																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ca</th> <th>Mg</th> <th>Ca+Mg</th> <th>(meq/100ml)</th> <th>%</th> <th>ppm</th> <th>(%)</th> <th>Clase Textural</th> </tr> <tr> <th>Mg</th> <th>K</th> <th>K</th> <th>Sum Bases</th> <th>NTot</th> <th>Cl</th> <th>Arena</th> <th>Limo</th> <th>Arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.73</td> <td>1.55</td> <td>11.96</td> <td>16.33</td> <td></td> <td></td> <td>50.40</td> <td>38.20</td> <td>11.40</td> </tr> <tr> <td colspan="8"></td> <td>FRANCO</td> </tr> </tbody> </table>										Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	(%)	Clase Textural	Mg	K	K	Sum Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	6.73	1.55	11.96	16.33			50.40	38.20	11.40									FRANCO																																																																					
Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	(%)	Clase Textural																																																																																																										
Mg	K	K	Sum Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla																																																																																																									
6.73	1.55	11.96	16.33			50.40	38.20	11.40																																																																																																									
								FRANCO																																																																																																									
Dr. Quím. Edison M. Miño M. Responsable Laboratorio																																																																																																																	



ANEXO B: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

```
//librerias
#include "Button2.h"
#include "Countimer.h"
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SH110X.h>
#include <Wire.h>

//Variables oled
#define largo 128
#define ancho 64
#define pin_reset -1
#define i2c_Address 0x3c

//botones
#define up 13 //boton para incrementos
#define down 14 //boton para decremento
#define enter 12 //boton para ingresar los seteos e iniciar el temporizador

//modos
#define modo_r_f 27 //selector para cambiar entre riego (0) y fertirriego (1)
#define modo_t_a 26 //selector para cambiar entre temporizador (0) y automático (1)

//reles
#define rele_riego 17 //rele de activación LOW
#define rele_ferti1 5
#define rele_ferti2 18

//sensores
#define sensor_humedad 25

//estados
uint8_t contador=0; //bandera para el ingreso de valores (0--> inhabilitado, 1--> hora, 2--> minutos, 3--> seteo)
uint8_t regresivo=0; //bandera para mostrar conteo regresivo (1)

//variables de tiempo (temporizador y delay)
uint8_t hora=0; //almacena la hora del temporizador
uint8_t minutos=0; //almacena los minutos del temporizador
unsigned long tiempo_actual=0; //
unsigned long tiempo_muestra=0; //para realizar actualización sin usar delay

//Variables humedad
unsigned int humedad=0; //para mostrar como porcentaje
unsigned int valor=0; //para obtener el valor sentido

//objetos
Button2 btnUp, btnDown, btnEnter; //control de botones
Adafruit_SH1106G oled=Adafruit_SH1106G(largo,ancho,&Wire,pin_reset); //objeto oled
Countimer temp; //controla las funciones conteo regresivo
//imagenes
static const unsigned char PROGMEM visto[] = {0x01,0x02,0x04,0x88,0x50,0x20}; //para indicar seteo de temporizador

void setup() {
  pinMode(modo_r_f,INPUT_PULLDOWN);
  pinMode(modo_t_a,INPUT_PULLDOWN);
  pinMode(rele_riego,OUTPUT);
  pinMode(rele_ferti1,OUTPUT);
  pinMode(rele_ferti2,OUTPUT);
  digitalWrite(rele_riego,HIGH);
  digitalWrite(rele_ferti1,HIGH);
}
```

```

digitalWrite(rele_ferti2,HIGH);
pinMode(sensor_humedad,INPUT);
Serial.begin(115200);
oled.begin(i2c_Address,true);
delay(2500);
oled.clearDisplay();
btnUp.begin(up);
btnUp.setClickHandler(click); //acciones a tomar con un pulso
btnDown.begin(down);
btnDown.setClickHandler(click); //acciones a tomar con un pulso
btnEnter.begin(enter);
btnEnter.setClickHandler(click); //acciones a tomar con un pulso
btnEnter.setDoubleClickHandler(doubleclick); //acciones a tomar con dos pulsos (enter)
btnEnter.setTripleClickHandler(tripleclick); //reinicio externo
}

void loop() {
    tiempo_actual=millis();
    btnUp.loop();btnDown.loop();btnEnter.loop(); //inicialización de las funciones de los botones
    temp.run(); //inicialización de la función temporizador
    valor=analogRead(sensor_humedad); //lectura del sensor
    humedad=map(valor,2535,955,0,100); //valores obtenido en pruebas
    if((tiempo_actual-tiempo_muestra)>=1000){
        //Serial.println(humedad);
        tiempo_muestra=tiempo_actual;
        if(!temp.isCounterCompleted()){ //mostrar el conteo mientras no termine
            temp.start();
        }
        main_screen(); //muestra la información en pantalla

        if(digitalRead(modos_r_f)==LOW){ //si esta en fertirriego, accionar venturi
            digitalWrite(rele_ferti1, LOW);
            digitalWrite(rele_ferti2, LOW);

        }else if(digitalRead(modos_r_f)==HIGH){ //si esta en riego, apagar venturi
            digitalWrite(rele_ferti1, HIGH);
            digitalWrite(rele_ferti2, HIGH);
        }

        if(digitalRead(modos_t_a)==LOW){ //accionamiento de relees en modo automático
            if(humedad<50){
                digitalWrite(rele_riego,LOW);
            }else if(humedad>93){
                digitalWrite(rele_riego,HIGH);
            }
        }
    }
}

void main_screen(){
    oled.clearDisplay();

    if(digitalRead(modos_r_f)==LOW){
        oled.setCursor(96,55);
        oled.print("Ferti");
    }else if(digitalRead(modos_r_f)==HIGH){
        oled.setCursor(96,55);
        oled.print("Riego");
    }

    if(digitalRead(modos_t_a)==HIGH){
        oled.setCursor(96,43);
    }
}

```

```

oled.print("TEMPO");
}else if(digitalRead(mod0_t_a)==LOW){
oled.setCursor(99,43);
oled.print("AUTO");
}

switch(contador){
case 0:oled.drawBitmap(67,55,visto,8,6,1);
break;

case 1:oled.setCursor(67, 55);
oled.print("H");
break;

case 2:
oled.setCursor(67, 55);
oled.print("M");
break;

case 3:
oled.drawBitmap(67, 55, visto, 8, 6, 1);
break;
}

if(regresivo==1){
oled.setCursor(4,43);
oled.print("RES ");
oled.print(temp.getCurrentTime());
}

oled.setCursor(4, 55);
oled.setTextSize(1);
oled.setTextColor(1);
oled.print("TEM ");
oled.print(hora);
oled.print(":");
oled.print(minutos);

oled.setCursor(4, 21);
oled.print("HUM ");
oled.print(humedad);
oled.print(" %");

oled.display();
}

void click(Button2&btn){
if(btn==btnEnter){
if(contador==3){
contador=0;
}
contador++;
}

switch(contador){
case 1:
if(btn==btnUp){
if(hora>=23){
hora=0;
}
hora++;
}
}
}

```

```

    if(btn==btnDown){
        if(hora<=0){
            hora=23;
        }
        hora--;
    }
    break;

    case 2:
    if(btn==btnUp){
        if(minutos>=60){
            minutos=0;
        }
        minutos++;
    }

    if(btn==btnDown){
        if(minutos<=0){
            minutos=55;
        }
        minutos--;
    }
    break;
}

}

void doubleclick(Button2&btn){
    if(btn==btnEnter){
        if(contador==3){
            contador=0;
            temp.setCounter(hora,minutos,0,temp.COUNT_DOWN,count_complete);
            regresivo=1;
            temp.start();
            digitalWrite(rele_riego,LOW);
        }
    }
}

void tripleclick(Button2&btn){
    if(btn==btnEnter){
        ESP.restart();
    }
}

void count_complete(){
    digitalWrite(rele_riego,HIGH);
    regresivo=0;
    temp.stop();
}

```

ANEXO C: MANUAL DE USUARIO

Esta guía tiene como finalidad guiar al usuario para el correcto uso del programador de fertirriego.

Programador de fertirriego

Permite realizar las acciones de riego o fertirriego de manera manual o automática, según desee el usuario.



Caja 1: También conocida como la caja de control, es aquella que se encarga de mostrar la información e interactuar con el usuario

Caja 2: También conocida como la caja de potencia, es la encargada de encender y alimentar a la caja de control y a las electroválvulas.

Componentes externos

Caja 1



1: Pantalla oled

2: Modo (automático/temporizador)

3: Modalidad (fertirriego/riego)

4: Botones (-, enter, +)

5: Salida de sensor de humedad

Caja 2

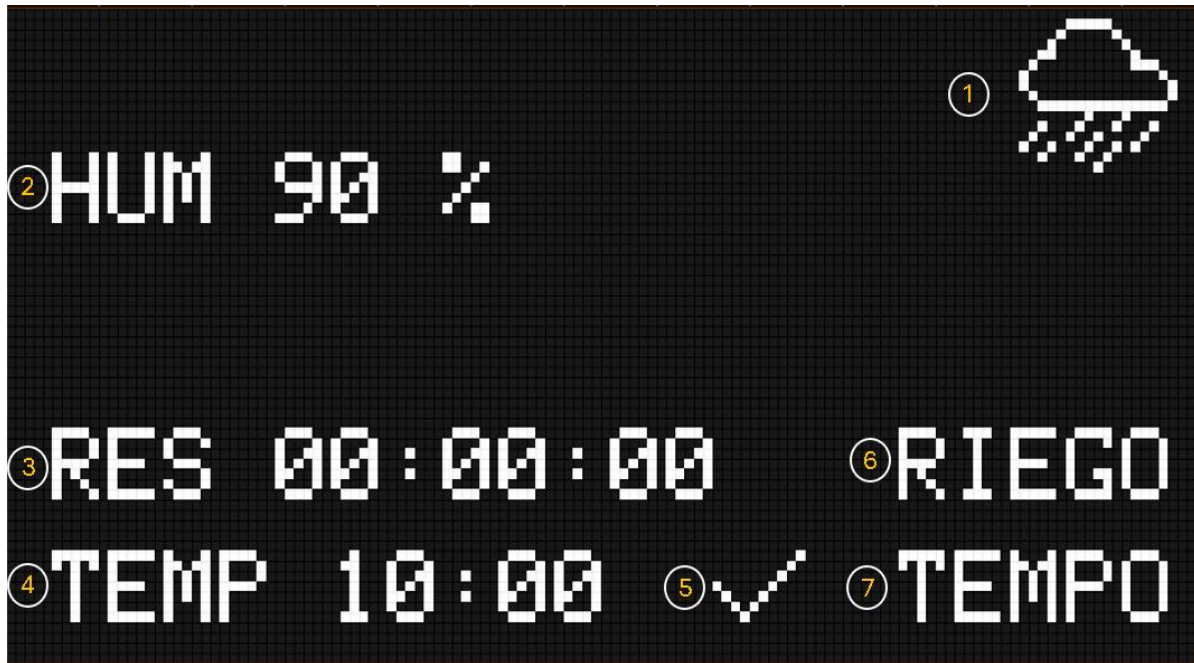


1: Botón de encendido

2: Entrada de alimentación (12VDC)

3: Salida de relés

Información en pantalla



1: Detección de lluvia

2: Lectura de sensor de humedad

3: Conteo regresivo de temporizador

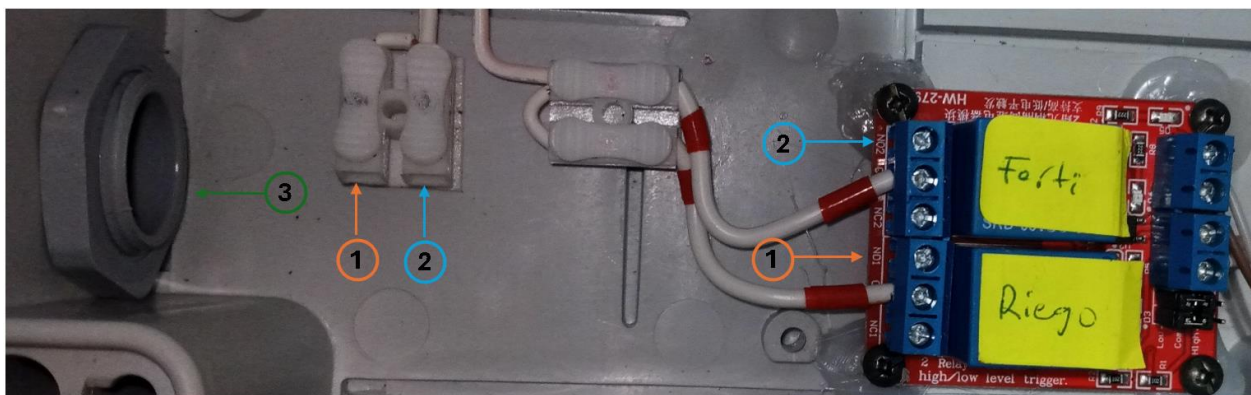
4: Temporizador/rango seteado

5: Indicación de seteo/inactivo

6: Modalidad actual

7: Modo actual

Conexión de electroválvulas



1. Abrir caja 2.
2. Conectar dos cables, uno en cada 1.
3. Pasar los cables a través de 3.
4. Conectar el extremo de cada cable hacia uno de los terminales de la electroválvula.
5. Conectar dos cables, uno en cada 2.
6. Repetir pasos 3 y 4.

Instrucciones de uso

Encendido

La caja 2 posee un botón, pulsar dicho botón. Si el botón se torna de color verde, significa que el programador ha sido encendido. Durante 10 segundos se observará una pantalla de carga.



Modalidad

Cuando se encuentra en riego, se acciona una electroválvula que permite el riego únicamente de agua. En el caso de fertirriego, se acciona otra electroválvula que permite el riego mediante la solución nutritiva.

Modos

Temporizador

Permite programar un cronómetro, el cual será el tiempo que se accionará el riego o fertirriego

Automático

Con la inclusión del sensor de humedad, el riego o fertirriego se acciona estableciendo un valor mínimo y se detiene en un valor máximo.

Lluvia

Mediante la lectura del sensor de humedad, cuando supera el 93%, los relés se mantendrán apagados hasta que sean niveles óptimos.

Programar riego

1. Colocar el selector en modo temporizador. En la pantalla se visualizará TEMPO.
2. Colocar el selector en modalidad riego. En la pantalla se visualizará TEMP.
3. Pulsar el botón enter.
4. En la pantalla se visualizará una H. Use los botones + o – para configurar la hora.
5. Pulsar el botón enter.
6. En la pantalla se visualizará una M. Use los botones + o – para configurar los minutos.
7. Pulsar el botón enter.
8. En la pantalla se observará el tiempo establecido. Si está de acuerdo, presione dos veces el botón enter para iniciar riego.

Programar fertirriego

1. Colocar el selector en modo temporizador. En la pantalla se observará TEMPO.
2. Colocar el selector en modalidad fertirriego. En la pantalla se visualizará FERTI.
3. Pulsar el botón enter.
4. En la pantalla se visualizará una H. Use los botones + o – para configurar la hora.
5. Pulsar el botón enter.
6. En la pantalla se visualizará una M. Use los botones + o – para configurar los minutos.
7. Pulsar el botón enter.
8. En la pantalla se observará el tiempo establecido. Si está de acuerdo, presione dos veces el botón enter para iniciar fertirriego.

Configurar riego/fertirriego automático

1. Colocar el selector en modo automático. En la pantalla se observará AUTO.

2. Pulsar el botón enter.
3. En la pantalla se visualizará un <. Use los botones + o – para configurar el valor mínimo.
4. Pulsar el botón enter.
5. En la pantalla se visualizará un > Use los botones + o – para configurar el valor máximo.
6. Pulsar el botón enter.
7. En la pantalla se observará el rango de humedad. Si está de acuerdo, presione dos veces el botón enter para guardar.

Consideraciones

Durante el riego o fertirriego temporizado, si cambia de modo, la cuenta regresiva desaparece y la electroválvula se apaga.

Si el programador está en lluvia, en la esquina superior derecha se observa un ícono, con ello el programador estará inhabilitado temporalmente.

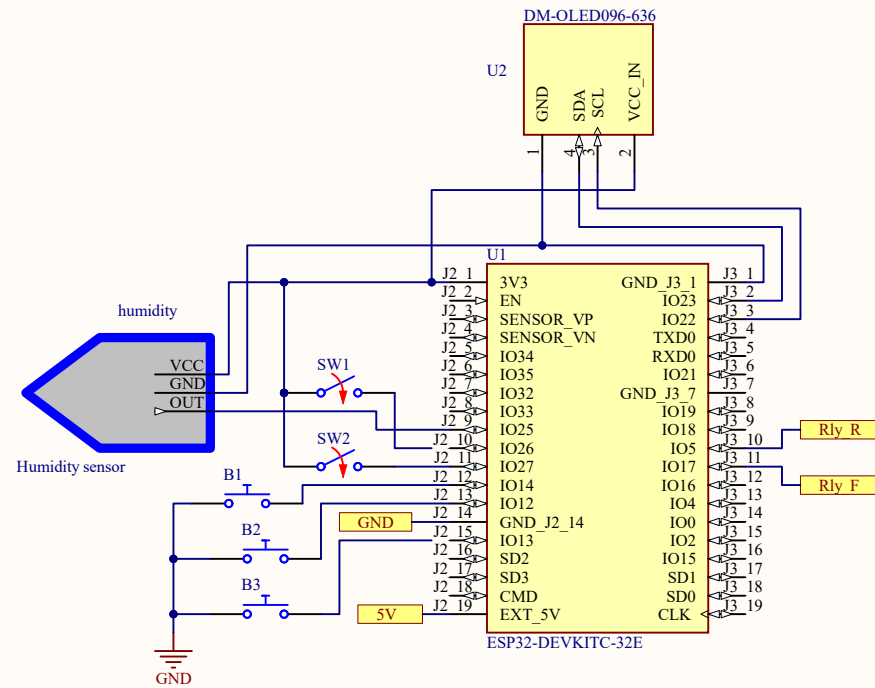
En el modo riego, no toma en consideración la humedad, a no ser que este en lluvia.

Errores

PROBLEMA	CAUSAS	SOLUCIONES
Valor de humedad mayor a 93.	Cable del sensor de humedad. Sensor de humedad.	Verifique la conexión. Compruebe el estado del sensor. Reemplazar si es necesario.
Electroválvula no se activa.	Cambios bruscos durante funcionamiento. Conexiones. Solenoides defectuosos.	Presione 3 veces seguidos el botón negro para reiniciar. Compruebe el cableado por posibles malas conexiones. Verifique que no haya taponamiento. Sustituir si es necesario

ANEXO D: PLANOS

ESQUEMÁTICO



Project: Sistema de fertirriego automático

Part: Esquemático_Control.SchDoc

Size
A4

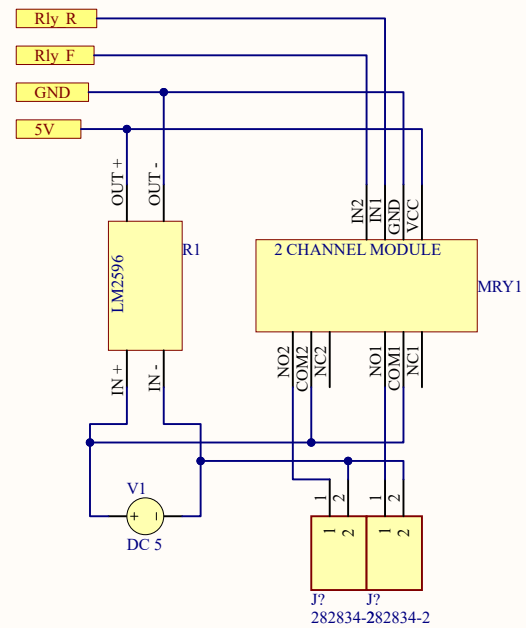
Drawn
Cachiguango Itumi

Checked
Mejía Cosme

FICA CIME

Date: 26/10/2024

Sheet 1 of 2



Project: Sistema de fertirriego automático

Part: Esquematico_Potencia.SchDoc

Size
A4

Drawn
Cachiguango Itumi

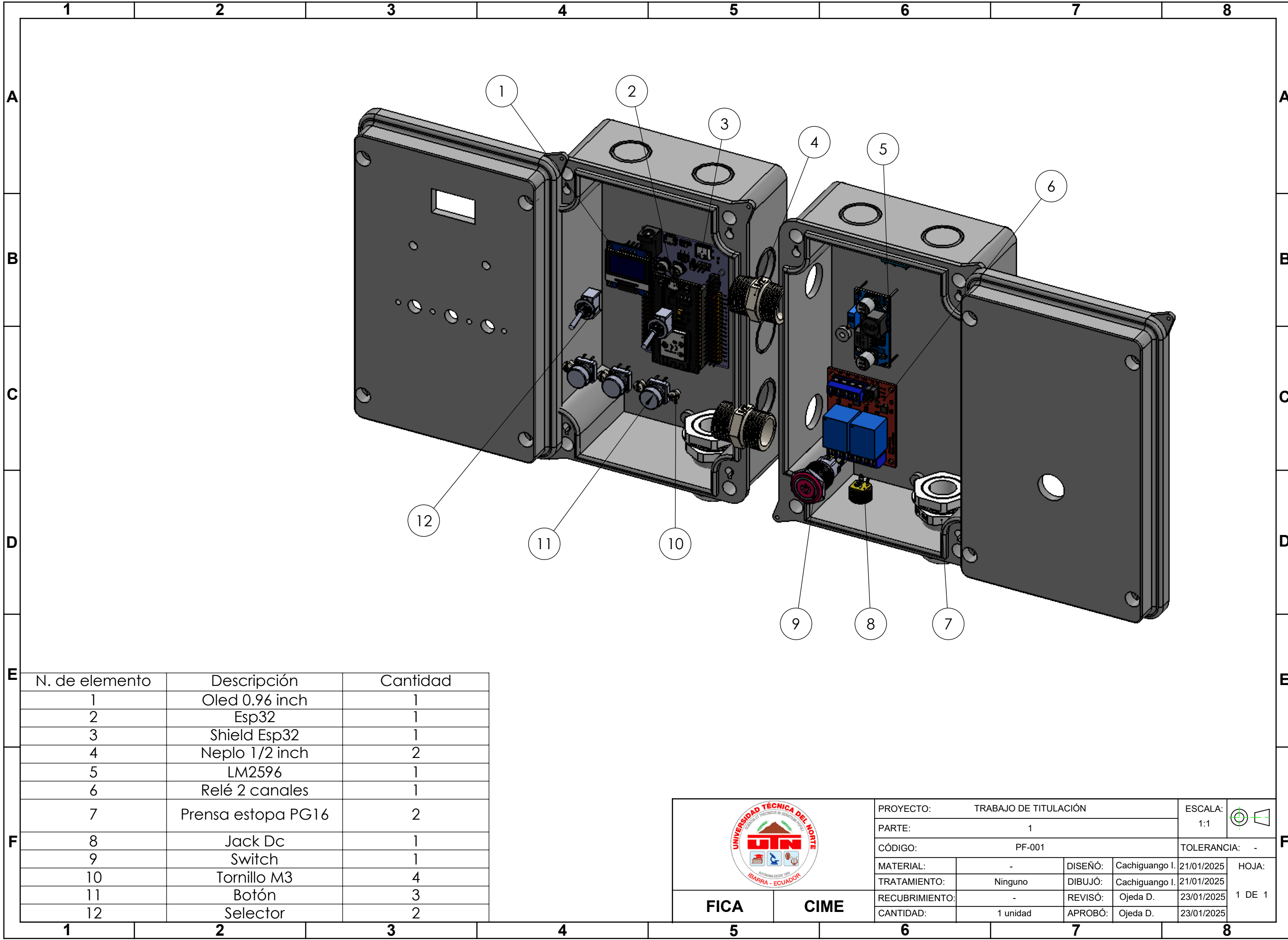
Checked
Mejía Cosme

FICA CIME

Date: 26/10/2024

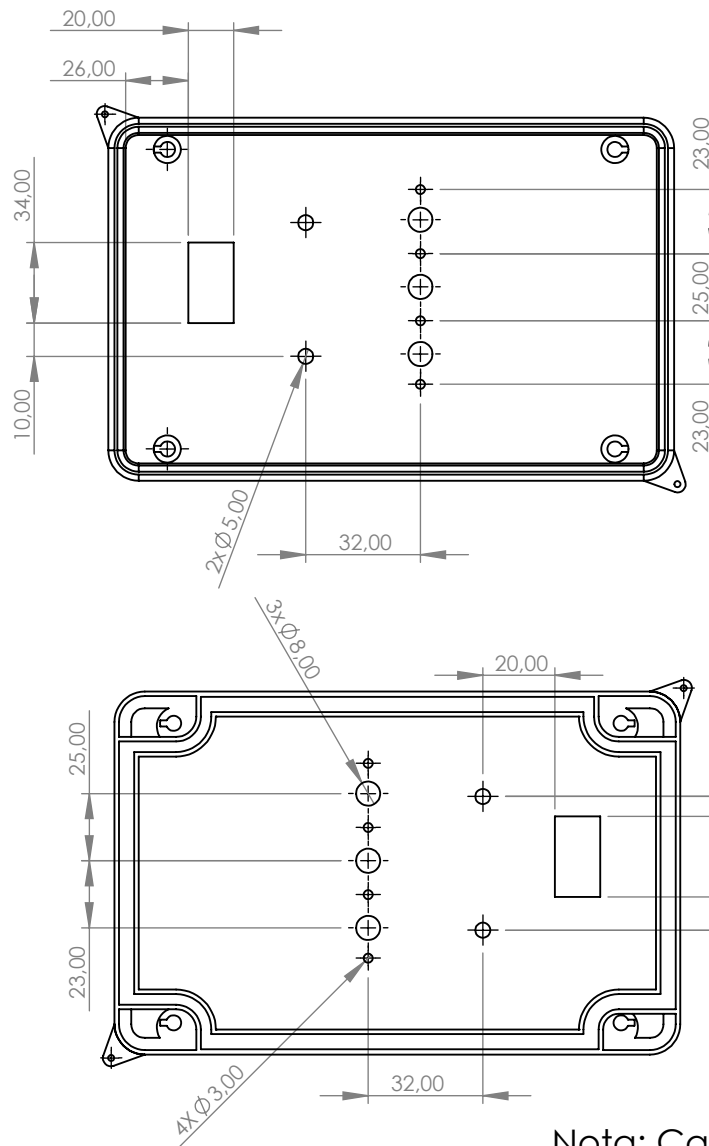
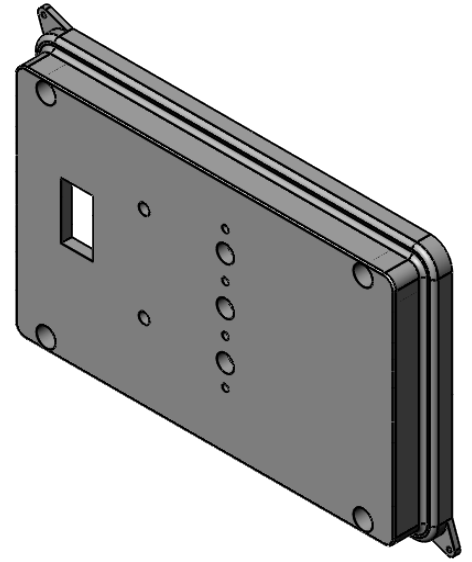
Sheet 2 of 2

MECÁNICOS



N. de elemento	Descripción	Cantidad
1	Oled 0.96 inch	1
2	Esp32	1
3	Shield Esp32	1
4	Neplo 1/2 inch	2
5	LM2596	1
6	Relé 2 canales	1
7	Prensa estopa PG16	2
8	Jack Dc	1
9	Switch	1
10	Tornillo M3	4
11	Botón	3
12	Selector	2

	PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN				ESCALA: 1:1	
	PARTE: 1					
	CÓDIGO: PF-001				TOLERANCIA: -	
	MATERIAL:	-	DISEÑO:	Cachiguango I.	21/01/2025	
	TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	Cachiguango I.	21/01/2025	
	RECUBRIMIENTO:	-	REVISÓ:	Ojeda D.	23/01/2025	
FICA	CIME	CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	Ojeda D.	23/01/2025
					HOJA: 1 DE 1	



Nota: Caja JSL IP-65 (175X110X66)



PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN

CÓDIGO: TT-CB-T01

MATERIAL: PLÁSTICO

DISEÑO CACHIGUANGO I 22/01/2025

DIBUJÓ CACHIGUANGO I 22/01/2025

REVISÓ OJEDA D 23/01/2025

APROBÓ OJEDA D 23/01/2025

ESCALA
1:1

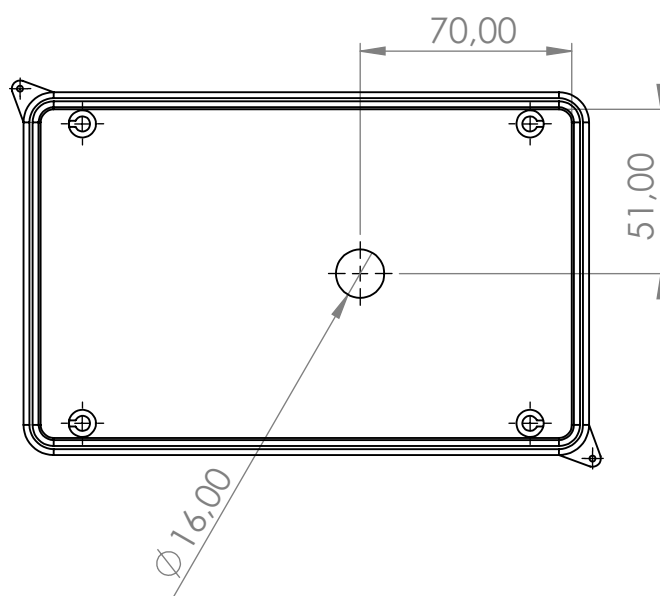
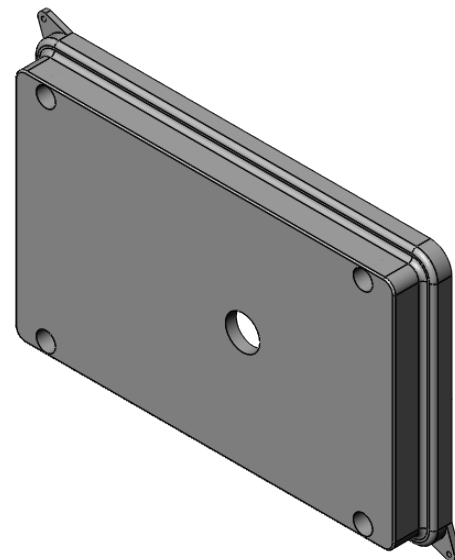


HOJA

1/1

FICA

CIME



Nota: Caja JSL IP-65 (175X110X66)



PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN

CÓDIGO: TT-PB-T01

MATERIAL: PLÁSTICO

DISEÑO CACHIGUANGO I 22/01/2025

DIBUJÓ CACHIGUANGO I 22/01/2025

REVISÓ OJEDA D 23/01/2025

APROBÓ OJEDA D 23/01/2025

ESCALA
1:1

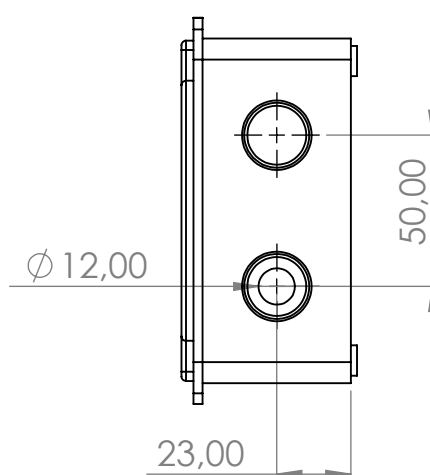
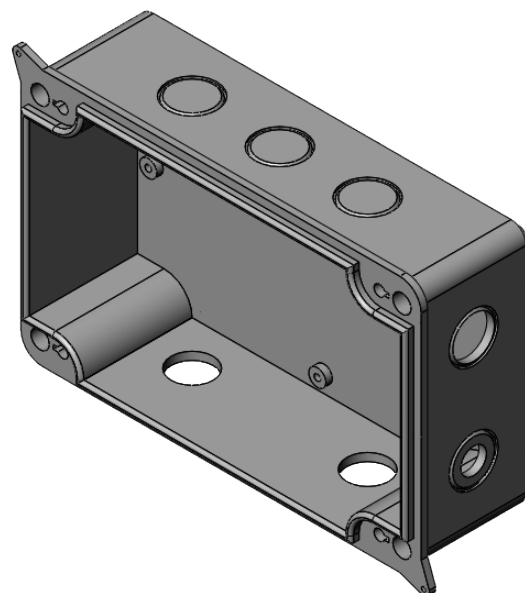


HOJA

1/1

FICA

CIME



Nota: Caja JSL IP-65 (175X110X66)



PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN

CÓDIGO: TT-PC-T02

MATERIAL: PLÁSTICO

DISEÑÓ CACHIGUANGO I 22/01/2025

DIBUJÓ CACHIGUANGO I 22/01/2025

REVISÓ OJEDA 23/01/2025

APROBÓ OJEDA D 23/01/2025

ESCALA
1:1



HOJA

1/1

FICA

CIME