

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un sistema inteligente para el riego automatizado y
la detección de enfermedades en áreas verdes de la
Hostería Armonía Lodge”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieras en Mecatrónica

Presentado por:

María del Cisne Feijóo Jaramillo

Yovana Paola Zambrano Ruiz

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2020

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud y fuerza para alcanzar todos mis objetivos y nunca rendirme.

A mis padres Marco Feijóo y Sandra Jaramillo, por su amor y apoyo incondicional. A mis hermanos, que son mi principal motivación para cada día superarme, y poder ser un buen ejemplo para ellos.

A mis abuelitos, tíos y primos, con su amor y apoyo constante, siempre estuvieron presentes.

A mis amigos y todas aquellas personas que compartieron junto a mí esta etapa y me brindaron siempre su apoyo.

María del Cisne Feijóo Jaramillo

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta aquí, por darme fuerzas cuando quería desmayar ante cualquier adversidad, por llenarme de salud y de inteligencia.

A mis padres y a mi hermana Gaby, ya que gracias a ellos soy lo que soy, gracias por su apoyo, comprensión y amor en los momentos difíciles, gracias por sostenerme económicamente para que pueda estudiar, me lo han dado todo y gracias a ustedes he logrado conseguir mis objetivos.

Finalmente, gracias a mis amigos queridos, esos que me regaló la vida y la universidad, por apoyarme y permitirme convivir y ser parte de sus vidas en todo este tiempo.

Yovana Paola Zambrano Ruiz

AGRADECIMIENTOS

A ESPOL y toda la comunidad politécnica, en especial a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP), los cuales han formado parte importante de mi desarrollo y crecimiento profesional y personal. Al M.Sc. Efraín Terán, al Ph.D. Christian Tutivén y al Ing. Christopher Vaccaro por su constante colaboración y preocupación a lo largo de mi carrera y durante la elaboración del presente proyecto.

María del Cisne Feijóo Jaramillo

AGRADECIMIENTOS

A ESPOL por su excelencia académica, por haber complementado mi crecimiento profesional y personal, por los conocimientos y experiencias adquiridas a lo largo de mi carrera universitaria.

A todos los profesores que han sido parte de mi formación profesional, en especial al M.Sc. Efraín Terán, por hacer de Mecatrónica una carrera ideal, al Ph.D. Christian Tutivén, por incentivarme a descubrir nuevas ciencias y oportunidades, por enseñarme a ser perseverante hasta cumplir mis metas, y al Ing. Christopher Vaccaro, por su paciencia y disposición a enseñar y por toda la ayuda brindada durante mis estudios.

Yovana Paola Zambrano Ruiz

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *María del Cisne Feijóo Jaramillo* y *Yovana Paola Zambrano Ruiz* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



María del Cisne Feijóo
Jaramillo



Yovana Paola Zambrano
Ruiz

EVALUADORES

EFRAIN ANDRES
TERAN CALLE

Digitally signed by EFRAIN ANDRES TERAN
CALLE
DN: c=EC, o=SECURITY DATA S.A. 1,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION, serialNumber=060820180846,
cn=EFRAIN ANDRES TERAN CALLE
Date: 2021.02.25 16:39:01 -05'00'

Efraín Terán, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**CHRISTIAN
JAVIER TUTIVEN
GALVEZ**

Christian Tutivén, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de un sistema inteligente para riego automatizado y detección de enfermedades en áreas verdes de la Hostería Armonía Lodge ubicado en la comuna de Montañita, provincia de Santa Elena. El objetivo es asegurar el cuidado adecuado de las plantas y la optimización de recursos, sobre todo del agua, debido al desabastecimiento que afecta a esta comunidad.

El tipo de riego seleccionado es el riego por goteo subterráneo. Este sistema está dividido en dos módulos. El primero es el sistema de riego para el cual se utilizó una Raspberry Pi, electroválvula, relé, y sensores de humedad del suelo y temperatura. El segundo módulo es el control del nivel de agua de la cisterna en el que se utilizó una Raspberry y un sensor ultrasónico. Además, se desarrolló una aplicación móvil que permite observar datos y estadísticas importantes del sistema. Asimismo, se entrenó un modelo para la detección de enfermedades en plantas utilizando *Machine Learning*. Para el diseño del sistema de riego, se utilizó una tubería XFS ubicada uniformemente sobre toda el área analizada. El prototipo de la aplicación desarrollada cuenta con varias ventanas que permiten brindar una interfaz amigable al usuario. La precisión lograda en el modelo de detección de enfermedades fue del 97.4%.

Finalmente, a través de la implementación de este sistema se puede lograr un ahorro de agua de aproximadamente 15%. Además, con ayuda del aplicativo se obtiene un mayor control de este y se logra una detección temprana de enfermedades. El costo de implementación es de \$1560.

Palabras Clave: Riego Automatizado, Goteo Subterráneo, Aplicación Móvil, Machine Learning.

ABSTRACT

This project consists of the design of an intelligent system for automated irrigation and detection of diseases in green areas of the Armonía Lodge Inn located in the commune of Montañita, province of Santa Elena. The objective is to ensure the proper care of plants and the optimization of resources, especially water, due to the shortage that affects this community.

The type of irrigation selected is underground drip irrigation. This system is divided into two modules. The first is the irrigation system for which a Raspberry Pi, solenoid valve, relay, and soil moisture and temperature sensors were used. The second module is the control of the water level of the cistern in which a Raspberry and an ultrasonic sensor were used. Also, a mobile application was developed which allows observing important data and statistics of the system. Likewise, a model was trained for the detection of diseases in plants using Machine Learning.

For the design of the irrigation system, a XFS pipe was used, uniformly located over the entire analyzed area. The prototype of the developed application has several windows which allow providing a user-friendly interface. The precision achieved in the disease detection model was 97.4%.

Finally, through the implementation of this system a water-saving of approximately 15% can be achieved. Besides, with the help of the application, greater control of it is obtained and early detection of diseases is achieved. The implementation cost is \$ 1560.

Keywords: *Automated Irrigation, Underground Drip, Mobile Application, Machine Learning.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Información relacionada al área de estudio	5
1.4.1 Demografía	5
1.4.2 Ubicación	5
1.4.3 Clima y condiciones meteorológicas	6
1.5 Marco teórico.....	7
1.5.1 Importancia del riego en el desarrollo de las plantas.....	7
1.5.2 Parámetros ambientales para garantizar un riego adecuado	7
1.5.3 Tipos de sistema de riego	8
1.5.4 Machine Learning.....	10
CAPÍTULO 2	13

2.	Metodología	13
2.1	Alternativas de solución	13
2.2	Matriz de decisión.....	13
2.3	Diseño conceptual	15
2.3.1	Diseño conceptual del sistema de riego	15
2.3.2	Diseño conceptual del sistema para el control del nivel de agua.....	15
2.3.3	Aplicativo móvil	16
2.3.4	Algoritmo de detección de enfermedad en plantas.....	16
2.4	Pasos del diseño	16
2.5	Requerimientos de diseño:	17
2.5.1	Sensor de humedad del suelo.....	18
2.5.2	Sensor de temperatura.....	18
2.5.3	Sensor de nivel ultrasónico.....	18
2.5.4	Electroválvula.....	19
2.5.5	Microcontrolador	19
2.5.6	Computadora de control.....	20
2.6	Condiciones para el accionamiento del sistema de riego.....	20
2.7	Descripción del diseño.....	21
2.7.1	Área de estudio	22
2.8	Cálculos para la selección y ubicación de tuberías y accesorios	23
2.8.1	Consideraciones	23
2.8.2	Cálculo del número de filas laterales.....	25
2.8.3	Longitud de la tubería	26
2.8.4	Caudal total del sistema de riego	26
2.8.5	Consumo y ahorro de agua con el sistema inteligente	27
2.9	Accesorios del sistema de riego	29

2.10	Control del nivel de agua en la cisterna	30
2.11	Diseño del aplicativo móvil	31
2.11.1	Diagrama entidad-relación	32
2.12	Diseño de algoritmo para la detección de enfermedades	33
CAPÍTULO 3		38
3.	Resultados y análisis	38
3.1	Selección de sensores.....	38
3.2	Selección de actuadores	40
3.2.1	Selección del computador	41
3.3	Base de datos	42
3.3.1	Firestore	42
3.4	Algoritmo para la detección de enfermedades.....	42
3.4.1	Pruebas de funcionamiento del modelo	44
3.5	Aplicativo móvil.....	46
3.6	Selección de tuberías	50
3.7	Sistema de riego.....	51
3.8	Conexiones	54
3.8.1	Conexiones para el control del sistema de riego	54
3.8.2	Conexiones para el control de la cisterna.....	56
3.9	Protección de dispositivos electrónicos	58
3.10	Análisis de costos	61
CAPÍTULO 4		63
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	63
4.1	Conclusiones	63
4.2	Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFIA		

APÉNDICES.....

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
FAO	Food and Agriculture Organization
EE. UU.	Estados Unidos de América
IoT	Internet of things
EPA	United States Environmental Protection Agency
SENPLADES	Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo
SETEP	Secretaria Técnica para la Erradicación de la Pobreza
CNN	Convolutional Neural Network
ReLU	Rectified Linear Unit
NLLoss	Negative log likelihood loss
RGB	Red Green Blue
WiFi	Wireless Fidelity
BLE	Bluetooth Low Energy
DC	Direct Current
GPIO	General Purpose Input/Output
RAM	Random Access Memory
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolet radiation

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
km ³	Kilómetros cúbicos
ha	Hectárea
km	Kilómetro
cm	Centímetro
m	Metro
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
°C	Grados Celsius
in	Pulgada
\$	Dólares americanos
psi	Libra por pulgada cuadrada
bar	Bar
L	Litro
L/h	Litro por hora
L/min	Litro por minuto
N	Número de filas laterales
a _r	Ancho del área de riego
S _f	Separación entre filas laterales
a _{r1}	Ancho del área de riego sin bordes
A _r	Área total de riego
P	Perímetro
Long	Longitud de tubería
Q _T	Caudal total del sistema de riego
Q _g	Caudal de gotero
S _g	Separación de goteros
V	Voltio
mA	Miliamperio
A	Amperio
W	Watts

GHz	GigaHercio
GB	Gigabyte

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cobertura de agua por red pública en la provincia de Santa Elena.....	3
Figura 1.2. Ubicación de la hostería Armonía Lodge en la comuna de Montañita.....	6
Figura 1.3. Clima y condiciones metodológicas de la comuna Montañita	6
Figura 1.4. Riego por aspersión.....	9
Figura 1.5. Riego por goteo.	9
Figura 1.6. Riego superficial.	9
Figura 1.7. Procesamiento de imágenes	11
Figura 2.1. Alternativas del sistema de riego.	13
Figura 2.2. Pasos del diseño.	17
Figura 2.3. Condiciones para el accionamiento del sistema de riego.....	20
Figura 2.4. Áreas verdes de la hostería Armonía Lodge.....	21
Figura 2.5. Área verde de estudio.....	22
Figura 2.6. Dimensiones del área de estudio.....	23
Figura 2.7. Diámetro del bulbo humedecido según el tipo de suelo	24
Figura 2.8. Diámetro del bulbo humedecido según el tipo de suelo	30
Figura 2.9. Área donde se encuentra la cisterna.	31
Figura 2.10. Diagrama entidad relación.	32
Figura 2.11 . Arquitectura de la resnet-152.....	37
Figura 3.1. Sensor de humedad del suelo	38
Figura 3.2. Sensor de temperatura.	39
Figura 3.3. Sensor de nivel de agua	39
Figura 3.4. Electroválvula.	40
Figura 3.5. Módulo relé.....	41
Figura 3.6. Computador de control	42
Figura 3.7. Error de entramiento y validación del modelo	43
Figura 3.8. Precisión del modelo.	44
Figura 3.9. Resultado con hoja saludable.....	45
Figura 3.10. Resultado con hoja enferma.	46
Figura 3.11. Interfaz inicial de aplicación móvil.....	47
Figura 3.12. Control del sistema de riego por medio de la aplicación.	48
Figura 3.13. Control del nivel del agua por medio de la aplicación.	49

Figura 3.14. Detección de enfermedades por medio de la aplicación	50
Figura 3.15. Tuberías XFS.	51
Figura 3.16. Distribución de las tuberías.....	52
Figura 3.17. Separación entre tuberías.....	52
Figura 3.18. Ubicación de los sensores de humedad y la caja de control.	53
Figura 3.19. Ubicación de la electroválvula en la caja de protección.	54
Figura 3.20. Diagrama esquemático del control del sistema del agua.	55
Figura 3.21. Conexiones eléctricas del control del sistema de agua.	56
Figura 3.22. Diagrama esquemático del control de la cisterna.....	57
Figura 3.23. Conexiones eléctricas del control de la cisterna.	58
Figura 3.24. Vista isométrica de las cajas de protección para circuito encargado de la activación del sistema de riego. (Caja N°1)	59
Figura 3.25. Vista frontal de la caja N° 1.....	59
Figura 3.26. Vista isométrica de la caja de protección para Raspberry. (Caja N° 2 y caja N°3).....	60
Figura 3.27. Vista interna de caja N° 1 y caja N° 2.	60
Figura 3.28. Spray protector	61
Figura A.1. Datasheet del sensor ultrasónico	69
Figura A.2. Datasheet del sensor de temperatura	70
Figura A.3. Datasheet Raspberry Pi 3	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Sistema de riego.....	9
Tabla 2.1. Matriz de decisión.....	14
Tabla 2.2. Tasas de infiltración del suelo.....	24
Tabla 2.3. Recomendaciones para las tuberías con gotero serie XF.....	25
Tabla 2.4. Enfermedades correspondientes a los diferentes tipos de plantas.....	34
Tabla 3.1. Sensor de humedad del suelo.....	38
Tabla 3.2. Sensor de temperatura.....	39
Tabla 3.3. Sensor de nivel de agua.....	39
Tabla 3.4. Electroválvula.....	40
Tabla 3.5. Módulo relé.....	41
Tabla 3.6. Computadora de control.....	42
Tabla 3.7. Tuberías XFS.....	51
Tabla 3.8. Costos.....	62

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Plano de la hostería
- PLANO 2 Plano ubicación de la tuberías
- PLANO 3 Plano de la cisterna N° 2
- PLANO 4 Caja de protección N° 1
- PLANO 5 Caja de protección N° 2 y 3

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Un riego constante y eficiente es primordial en el cuidado de las plantas. Éste depende de diversos factores, como son, el tipo de planta, la época del año, las condiciones del suelo, entre otras. Debido a la falta de conocimiento y a la variabilidad en la cantidad de agua requerida por las plantas, generalmente se subestima o sobrestima el riego, provocando afectaciones en la vegetación y el consumo excesivo de agua.

Según un estudio realizado por la Agencia de Protección del Ambiente de los EE.UU. (EPA), se estima que más del 50 % del agua utilizada para el riego comercial y residencial se desperdicia, esto se debe a diferentes motivos como la evaporación, escorrentía o riego excesivo [1]. Este último es debido principalmente al uso de sistemas de riego obsoletos, mal instalados, rociadores no personalizados, entre otros. Este desperdicio puede conllevar a la escasez de recursos, sobre todo, en zonas en donde estos son limitados, como es el caso de la zona de estudio.

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de un sistema inteligente para el riego automatizado y detección de enfermedades en plantas ubicadas en áreas verdes de la Hostería Armonía Lodge, situado en la comuna de Montañita, provincia de Santa Elena. Esta zona es muy popular por sus playas y por ser uno de los principales destinos turísticos de miles de personas tanto nacionales como extranjeros.

Para el desarrollo de este proyecto se hará uso de distintos sensores y actuadores IoT (Internet de las cosas). Estos dispositivos permiten monitorizar en tiempo real información relevante del sistema, para así, en base a esta información poder realizar diferentes acciones con la finalidad de garantizar un cuidado adecuado de las plantas y la optimización de recursos. Además, se plantea mediante el procesamiento de imágenes y el uso de algoritmos de detección y clasificación, detectar la presencia de enfermedades, para poder tomar las respectivas medidas de corrección con el fin de evitar el daño de las plantas.

Para brindar un mejor servicio y comodidad al usuario, se plantea el diseño de una aplicación móvil, la cual permita observar en tiempo real el estado de sus cultivos, así como también llevar estadísticas de la información más relevante del sistema como el consumo de agua y su porcentaje de ahorro.

Este proyecto está compuesto de cuatro capítulos, los cuales se desarrollarán a lo largo del presente documento. En el primer capítulo se dará una introducción del tema, la problemática a resolver, se establecerán los objetivos a alcanzar y los conceptos fundamentales que sirvieron para desarrollar este proyecto; en el segundo se da a conocer la metodología del diseño para el desarrollo del sistema; en el tercer capítulo se muestran todos los dispositivos y elementos seleccionados, además de los resultados obtenidos, y el análisis de costos. Finalmente, en el cuarto, se describen las conclusiones y recomendaciones.

1.1 Descripción del problema

La escasez de agua es cada vez más eminente, según un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), aproximadamente 3600 km³ de agua dulce son extraídos al año para el consumo humano. Se estima que el 70% de toda la extracción es destinada para la producción y cuidado de las plantas [2], en el cual aproximadamente la mitad de ese suministro se desperdicia al momento del riego. Una de las causas principales del desperdicio es el uso de sistemas de riego ineficientes, que además de producir desperdicio de agua producen daños en las plantas y en la tierra.

El Ecuador no se encuentra lejos de estas estadísticas y específicamente en la provincia de Santa Elena, la insuficiencia de agua potable se presenta como una problemática que afecta a gran parte de las comunidades pertenecientes a esta región del país, ya que, al ser una región semidesértica, la evaporación es mayor que las precipitaciones lo que provoca desabastecimiento de este recurso.

Según un estudio realizado por la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) y la Secretaria Técnica para la erradicación de la pobreza (SETEP),

en el año 2014, se estima que solo el 62,8 % de la población perteneciente a este cantón cuenta con cobertura de agua por red pública [3] (Figura 1.1). A pesar de que, entre los últimos años, se ha podido observar una mejora considerable en las tasas de cobertura de agua por red pública y fuentes cercanas, la red de agua potable no cubre a toda la provincia, muchas zonas no cuentan con este servicio, y su único abastecimiento es el camión cisterna provisto por el municipio, el cual generalmente solo realiza una ruta por semana, que resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de la población.

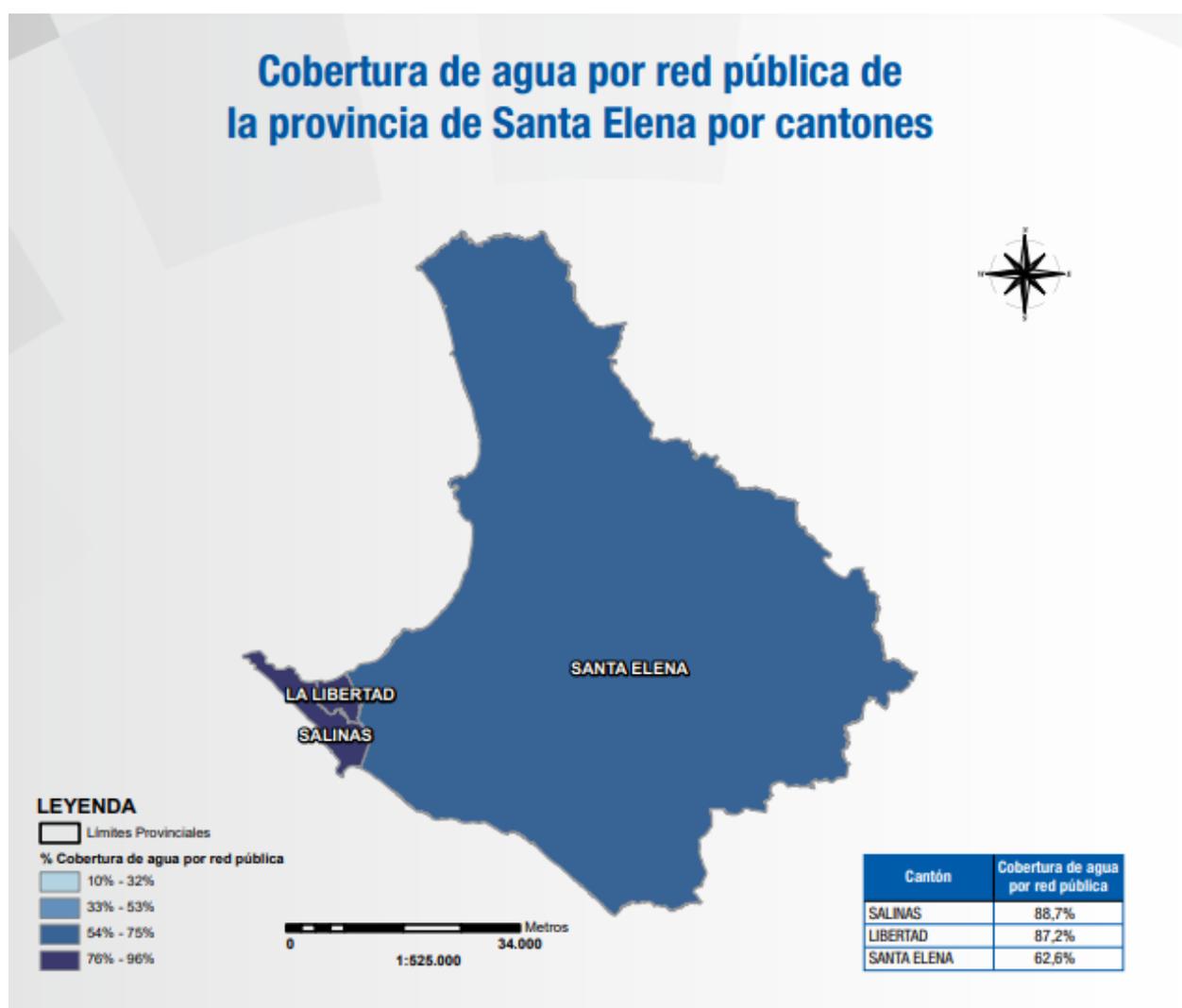


Figura 1.1. Cobertura de agua por red pública en la provincia de Santa Elena. [3]

En Ecuador, generalmente el riego del jardín se realiza de manera manual, es decir, una persona se encarga de regar o activar el sistema de riego, el cual se realiza con la ayuda de una manguera o de aspersores. Sin embargo, este método no toma

en cuenta los diferentes parámetros que rigen a un riego adecuado de plantas. Es por ello por lo que estos métodos no se consideran óptimos, dado que el desperdicio de recursos es elevado y no se puede garantizar un adecuado cuidado de las plantas.

1.2 Justificación del problema

Debido a la problemática descrita previamente, en el presente proyecto se plantea el diseño de un sistema de riego automatizado e inteligente, utilizando diversas metodologías y herramientas tecnológicas. Tomando en cuenta diferentes parámetros como el tipo de planta, el tipo de suelo, la temperatura, la humedad y una variedad de factores relacionados con el agua y el riego para asegurar un cuidado adecuado de las plantas, y además garantizar la optimización de recursos.

La implementación de un sistema de riego inteligente trae consigo múltiples ventajas entre las que podemos destacar un ahorro significativo de agua, la reducción de costos operativos y de mantenimiento, la conservación de recursos naturales y la preservación del ambiente. Con esto se fomenta un desarrollo sostenible y se potencia el turismo, dado que muchos hoteles podrán implementar este sistema, lo cual les permitirá mejorar la infraestructura externa de sus instalaciones. Esto brindará mayor sensación de armonía y un mejor servicio, lo cual ayuda a captar la atención de turistas del país y del mundo.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar un sistema inteligente para el riego automatizado y la detección de enfermedades en plantas ubicadas en áreas verdes de la Hostería Armonía Lodge, mediante el uso de tecnologías IoT y técnicas de inteligencia artificial para asegurar el cuidado adecuado de las plantas y la optimización de recursos.

1.3.2 Específicos

1. Garantizar el ahorro de agua en la Hostería Armonía Lodge, para reducir el desperdicio de recursos tanto naturales como económicos.
2. Conocer el consumo de agua producido por el sistema de riego automatizado.
3. Medir en tiempo real el nivel de agua de la cisterna.
4. Detectar enfermedades en las plantas a través del procesamiento de imágenes y técnicas de *Machine Learning*.
5. Desarrollar una aplicación móvil que permita conocer en tiempo real el estado de las plantas y además llevar un registro estadístico de la información relevante del sistema.

1.4 Información relacionada al área de estudio

1.4.1 Demografía

La comuna Montañita tiene una extensión territorial aproximada de 14 000 hectáreas y una población de 5000 habitantes. Durante la temporada playera en el Ecuador (de noviembre a abril), Montañita recibe miles de turistas de todas partes del mundo.

1.4.2 Ubicación

Montañita está ubicada en la parroquia Manglaralto, cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena, a 200 Km de la ciudad de Guayaquil. Está delimitado al norte con Olón; al sur con Manglaralto; al este con el Océano Pacífico; y, al oeste Pajiza y Dos Mangas.

La hostería Armonía Lodge, se encuentra situado dentro de esta comuna en las siguientes coordenadas geográficas:

- **Latitud:** -1.8185421300427154
- **Longitud:** -80.7559557608943

En la figura 1.2. se puede observar la ubicación exacta de la hostería dentro de la comuna de Montañita.

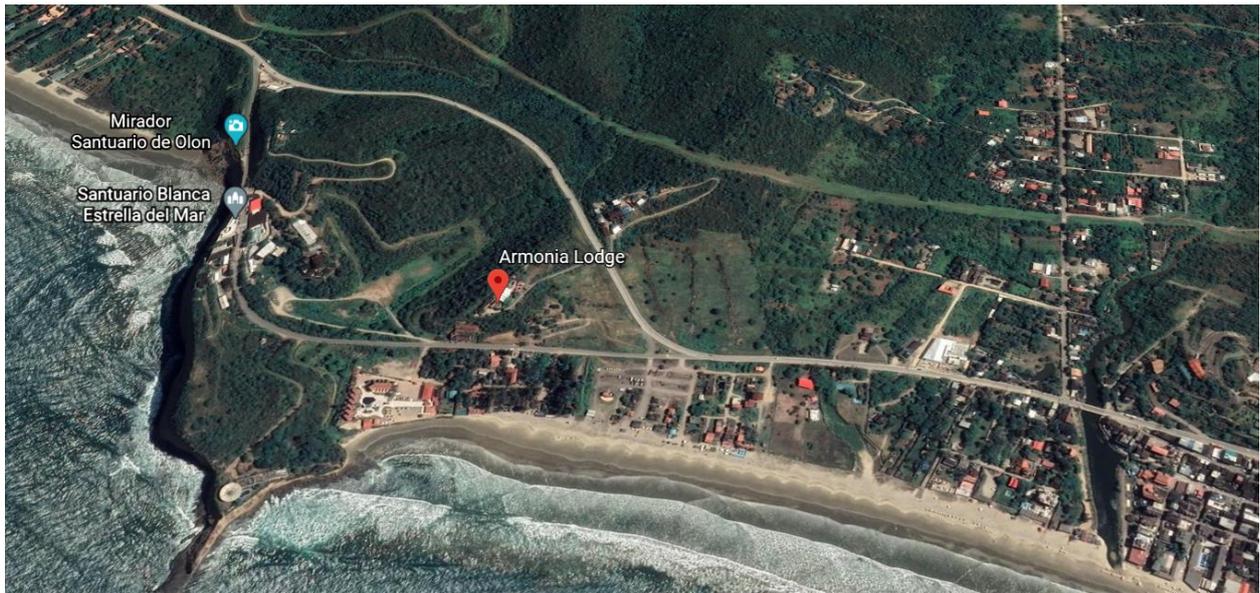


Figura 1.2. Ubicación de la hostería Armonía Lodge en la comuna de Montañita. [4]

1.4.3 Clima y condiciones meteorológicas

La comuna de Montañita se encuentra a menos tres metros sobre el nivel del mar. Cuenta con un clima desierto y no presentan precipitaciones frecuentes durante el año. La temperatura media anual es aproximadamente de 24.7 °C. Febrero es el mes más caliente del año con un rango de temperaturas que varía desde los 23.1 °C a los 26.4 °C. En cambio, el mes de julio es el más frío del año.

El mes más seco es noviembre, donde el promedio de precipitaciones solo es de 6 mm. Al contrario de marzo, donde se tiene los valores más altos, con un valor promedio de 89 mm, como se observar en la Figura 1.3.

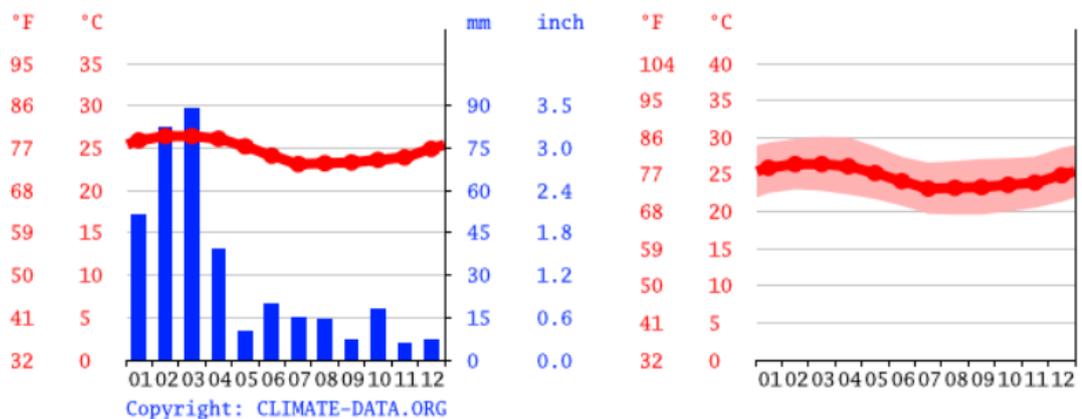


Figura 1.3. Clima y condiciones metodológicas de la comuna Montañita. [5]

1.5 Marco teórico

1.5.1 Importancia del riego en el desarrollo de las plantas

El agua es el principal constituyente de todos los organismos vivos. En las plantas este recurso representa aproximadamente el 80% de su peso. Además, el agua proporciona soporte estructural, enfría la planta y es el medio de transporte de los nutrientes provenientes del suelo [6].

Un riego eficiente garantiza un desarrollo y crecimiento adecuado de las plantas, dado que suministra la cantidad necesaria de agua en el momento que se necesita, humedeciendo el suelo hasta la profundidad que requiera el cultivo.

Los cultivos tienen momentos críticos para sus necesidades de agua, que, si no se subsanan, se traducen en pérdidas en rendimiento o falta de germinación, por lo cual es evidente la necesidad de aplicar un riego adecuado a las plantas [7].

1.5.2 Parámetros ambientales para garantizar un riego adecuado

1.5.2.1 Humedad del suelo

Un parámetro importante para un correcto riego es la humedad del suelo. Las plantas sufren o muestran síntomas de deficiencia extrema de agua cuando los niveles requeridos de humedad no están disponibles en el suelo de su hábitat. Esto ocurre cuando las plantas pierden agua continuamente por transpiración o evaporación debido a las altas temperaturas y la pérdida de humedad del suelo no se recupera. Hay que tener en cuenta que el suelo es como una esponja. La planta debe absorber el agua lentamente a través de sus raíces, por lo que, antes de volver a regar, se debe verificar qué tan seca está la tierra, es decir la humedad del suelo.

El riego se lo debe realizar cuando el suelo este seco y no solo la superficie, sino también a una profundidad de 2 pulgadas (in). Según estudios realizados, para garantizar un riego adecuado se recomienda que la humedad del suelo este entre un rango de 50-60 % [6].

1.5.2.2 Temperatura del ambiente

En las mañanas las temperaturas son más frías, lo que reduce la cantidad de agua que se pierde por evaporación y aumenta el agua que es absorbida por el suelo. Es por ello, la importancia de regar las plantas en momentos más frescos, a una temperatura de 20 °C, con poco viento y mucha humedad.

Regar por la mañana puede resultar en una menor pérdida de agua debido a la evaporación, pero la exposición al sol provocara que el suelo se seque. Poca exposición al sol permite que el agua se filtre más profundamente en el suelo, por ello es importante medir la cantidad de luz para determinar el momento adecuado para regar las plantas.

1.5.3 Tipos de sistema de riego

Actualmente, existen distintos tipos de riego, con características y propiedades que se adaptan a diferentes tipos de cultivos, con la finalidad de mejorar el rendimiento y optimizar el uso del agua [8].

Estos tipos de sistemas de riego se practican en función de los diferentes tipos de suelos, climas, cultivos y recursos. Los principales tipos de riego se detallan en la Tabla 1.1, donde se muestra un breve resumen de cada uno de estos.

Tabla 1.1. Sistema de riego

	Tipos de Riego		
	Riego por Aspersión	Riego por Goteo	Riego Superficial
Descripción	Este mecanismo funciona a través de una red de tuberías que transporta el agua hasta los aspersores, los cuales utilizan presión para rociarla en forma de gotas de lluvia sobre los cultivos. Los aspersores son probablemente la forma más rentable de cubrir grandes extensiones de tierra.	Este sistema de riego permite conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicarla a los cultivos a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica. El agua se aplica en forma de gota por medio de goteros.	Este método incluye una variedad de tipos de riego, con la misma característica en común de que el agua se aplica en la superficie del suelo y se distribuye en el campo por gravedad, de modo que el caudal de riego disminuye a lo largo del campo debido a la infiltración del terreno.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Menor consumo de agua. Es adecuado para todo tipo de suelos. Cubren grandes extensiones de tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro importante del recurso hídrico. Reducción de mano de obra. Uniformidad de la distribución del agua en riego. 	<ul style="list-style-type: none"> Permite un riego uniforme. Bajo costo de inversión. Las estructuras para controlar el agua y distribuirla son simples.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> Produce compactación en el suelo. Costo elevado de instalación. Requieren mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Altos costos de las instalaciones. Necesidad de presión para su correcto funcionamiento. Creación de zonas de acumulación salina. 	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de mano de obra elevada. Menor eficiencia en el uso del agua. Terreno debe ser regular (sin pendiente).
Eficiencia	50 – 90%	65 – 95%	10 – 30%
Imagen	 <p>Figura 1.4. Riego por aspersión.</p>	 <p>Figura 1.5. Riego por goteo.</p>	 <p>Figura 1.6. Riego superficial.</p>
Referencia	[8]	[8]	[8]

1.5.4 Machine Learning

Es un subcampo de la inteligencia artificial que permite crear sistemas que aprenden automáticamente. Este aprendizaje se da gracias a la identificación de patrones debido a un análisis de datos que permitirán crear un modelo o algoritmo y así generar predicciones de muestras de datos que no se conocen. Estos modelos o algoritmos pueden mejorar su aprendizaje a través de la experiencia, es decir, utilizando nuevos datos de entrada para alimentar el modelo y de esa forma se podrá redefinir el modelo para que pueda hacer las predicciones.

En machine learning existe una variedad de algoritmos que se pueden emplear y a partir del resultado deseado se escoge que algoritmo utilizar. Sin embargo, estos algoritmos se pueden clasificar en 3 grupos: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje reforzado. [9]

1.5.4.1 Aprendizaje supervisado

Este tipo de aprendizaje permite trabajar con un determinado grupo de datos, los cuales ya se encuentran etiquetados, es decir que se indica a que tipo o clase pertenecen. Después de un debido entrenamiento, el algoritmo aprende asociar cada las entradas con las salidas de manera que pueda hacer combinaciones para realizar predicciones [8].

Además, es importante conocer que existen 2 tipos de aprendizaje supervisado: la clasificación y la regresión. El primero tipo es aquel en el cual el algoritmo aprender a diferenciar y distinguir diferentes patrones y en base a esto clasifica la información en grupos, en cambio el segundo tipo es aquel en el que el algoritmo aprende a realizar predicción en base a un número de entradas [10].

1.5.4.2 Aprendizaje no supervisado

Este tipo de aprendizaje se caracteriza por que, al contrario del aprendizaje supervisado, el conjunto de datos con el que trabaja no posee etiquetas, además tampoco tienen una señal de supervisión o profesor que les indique lo que se debe aprender. Por lo cual, para lograr resultados precisos y satisfactorios se

debe tratar de extraer la mayor cantidad de información de los datos de forma autónoma [10].

1.5.4.3 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes consiste en manipular una imagen para mejorarla o extraer información de ella. Hay dos métodos de procesamiento de imágenes: El procesamiento de imágenes analógicas, que se utiliza para procesar fotografías físicas e impresiones. El procesamiento de imágenes digitales que se utiliza para manipular imágenes digitales con la ayuda de algoritmos informáticos. En ambos casos, la entrada es una imagen. Para el procesamiento de imágenes analógicas, la salida es siempre una imagen. Sin embargo, para el procesamiento de imágenes digitales, la salida puede ser una imagen o información asociada con esa imagen, como datos sobre características, cuadros delimitadores o mascararas [9].

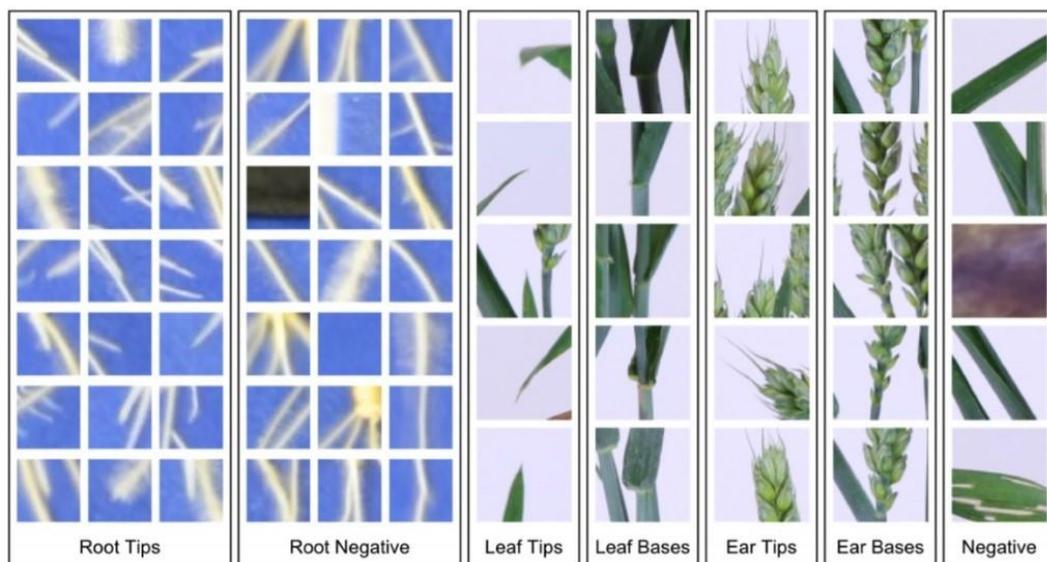


Figura 1.7. Procesamiento de imágenes. [9]

1.5.4.4 Redes neuronales convolucionales (CNN)

Las redes neuronales convolucionales son un tipo de redes neuronales artificiales que están diseñadas principalmente para el análisis, detección y clasificación de imágenes, es decir está diseñada para procesar datos de pixeles [11].

El comportamiento de cada neurona se define por sus pesos. Cuando se alimentan con los valores de los píxeles, las neuronas artificiales de una CNN seleccionan varias características visuales. Cada una de las neuronas toma un kernel de píxeles como entrada, multiplica sus valores de píxeles por sus pesos, los suma y los ejecuta a través de la función de activación. La primera capa de la CNN generalmente detecta características básicas como bordes horizontales, verticales y diagonales. La salida de la primera capa se alimenta como entrada de la siguiente capa, que extrae características más complejas, como esquinas y combinaciones de bordes. A medida que avanza en la red neuronal convolucional, las capas comienzan a detectar características de nivel superior, como objetos, caras y más.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Alternativas de solución

Se han propuesto tres diferentes alternativas de soluciones para determinar el tipo de riego más óptimo y que se adapte de mejor manera a las necesidades y requerimientos del cliente. Estas son sistema de riego por aspersión, por goteo y superficial (Figura 2.1). En el capítulo 1, en la sección 1.5.3, se encuentran descritas detalladamente.



Figura 2.1. Alternativas del sistema de riego.

2.2 Matriz de decisión

Para la selección de la alternativa de solución, se utilizó una matriz de decisión, la cual cuenta con diferentes criterios con su respectiva ponderación. La alternativa con mayor puntaje será la escogida.

Los criterios relevantes para la selección del tipo de riego más adecuado se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Matriz de decisión.

	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	CRITERIO 5	
Descripción	Costo de implementación	Alcance del riego	Consumo de agua	Eficiencia	Costo de mantenimiento	
	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	CRITERIO 5	Total
Peso	2	2	6	4	1	15
	13%	13%	40%	27%	7%	100%
OPTIONS	Calificación	Calificación	Calificación	Calificación	Calificación	
Riego Superficial	8	8	2	3	8	4.3
Riego por goteo	3	7	9	9	4	7.6
Riego por aspersión	4	9	7	8	6	7.1

- **Costo de implementación:** el costo inicial de instalación debe ser rentable y accesible para los usuarios.
- **Alcance del riego:** el sistema de riego debe abastecer en su totalidad el área que se desea regar.
- **Consumo de agua:** se refiere a la cantidad de agua consumida por el sistema de riego.
- **Eficiencia:** determina y evalúa la efectividad y desempeño de los sistemas de riego.
- **Costo de mantenimiento:** costos relacionados al mantenimiento de las instalaciones para asegurar su adecuado funcionamiento.

De los tres tipos de sistemas de riego propuestos se determinó que el riego por goteo es la opción más viable y óptima para este proyecto, debido a que permite cubrir toda el área de estudio y se adapta a las irregularidades del terreno, además presenta una buena optimización en el consumo del recurso hídrico, siendo el tipo de riego más eficiente en el ahorro de agua.

2.3 Diseño conceptual

El proyecto se divide en dos diferentes módulos, con la finalidad de cumplir con todos los objetivos planteados y con los requerimientos del cliente. El primer módulo comprende todo lo referente y relacionado al sistema de riego. El segundo módulo abarca toda la parte del diseño correspondiente al control del nivel de agua en la cisterna.

2.3.1 Diseño conceptual del sistema de riego

Para el diseño del sistema de riego por goteo, en primer lugar, se realizó un estudio para determinar las principales características de las áreas verdes con las que cuenta la hostería, como son las dimensiones, ubicaciones, tipos de plantas, regularidad del suelo, entre otras, con la finalidad de determinar adecuadamente las tuberías, sensores, actuadores y elementos mecánicos e hidráulicos necesarios para garantizar el cubrimiento de todas las áreas y el cuidado adecuado de las plantas. El sistema de riego contará con un sensor de temperatura y varios sensores para medir la humedad del suelo. Además, contará con una electroválvula, para permitir o bloquear el flujo del agua según sea necesario.

Adicionalmente, se seleccionó el sistema de tuberías y elementos electrónicos y mecánicos que mejor se ajusten a las necesidades y requerimientos del proyecto.

2.3.2 Diseño conceptual del sistema para el control del nivel de agua

Para el diseño del sistema para el control del nivel de agua de la cisterna, primero se realizó un estudio y reconocimiento del área, para conocer la ubicación, cantidad y capacidad de las cisternas. Para medir el nivel del agua, se utiliza un sensor ultrasónico, el cual permite medir la distancia que existe entre la superficie donde se encuentra ubicado el sensor y el agua.

2.3.3 Aplicativo móvil

Para el desarrollo del aplicativo móvil se utilizará el software Android Studio, el cual es un entorno de desarrollo libre para plataformas Android.

El aplicativo contará con varias opciones para el usuario, que le permitirán visualizar información relevante del sistema en tiempo real y desde cualquier ubicación en la que se encuentre.

2.3.4 Algoritmo de detección de enfermedad en plantas

Para el desarrollo del algoritmo de detección de enfermedades, en primer lugar, es necesario tener acceso a una base de datos con imágenes de hojas de plantas saludables y no saludables, donde se pueda evidenciar algunas de las principales enfermedades que afectan a las mismas.

Con la ayuda del algoritmo pre-entrenado, la base de datos y una selección adecuada de los parámetros e hiper parámetros del modelo, se espera realizar una detección exitosa de enfermedades en diferentes tipos de plantas.

2.4 Pasos del diseño

Esta sección se detallan todos los pasos que se siguieron para el desarrollo de este proyecto, los cuales se pueden observar en la Figura 2.2. El proceso de diseño se dividió en 4 diferentes etapas, las cuales se detallan a continuación.

- Diseño del sistema para el riego automatizado.
- Diseño del sistema para el control de nivel de agua en la cisterna.
- Desarrollo del algoritmo de detección de enfermedades.
- Desarrollo de la aplicación móvil.

Para distinguir cada etapa, se utilizaron diferentes colores. El color rosado corresponde a los pasos para el diseño del sistema de riego automatizado, en amarillo, se muestra la etapa del diseño del sistema de control de la cisterna, en verde, el desarrollo del algoritmo de detección de enfermedades y finalmente, en azul se detalla el desarrollo de la aplicación móvil.

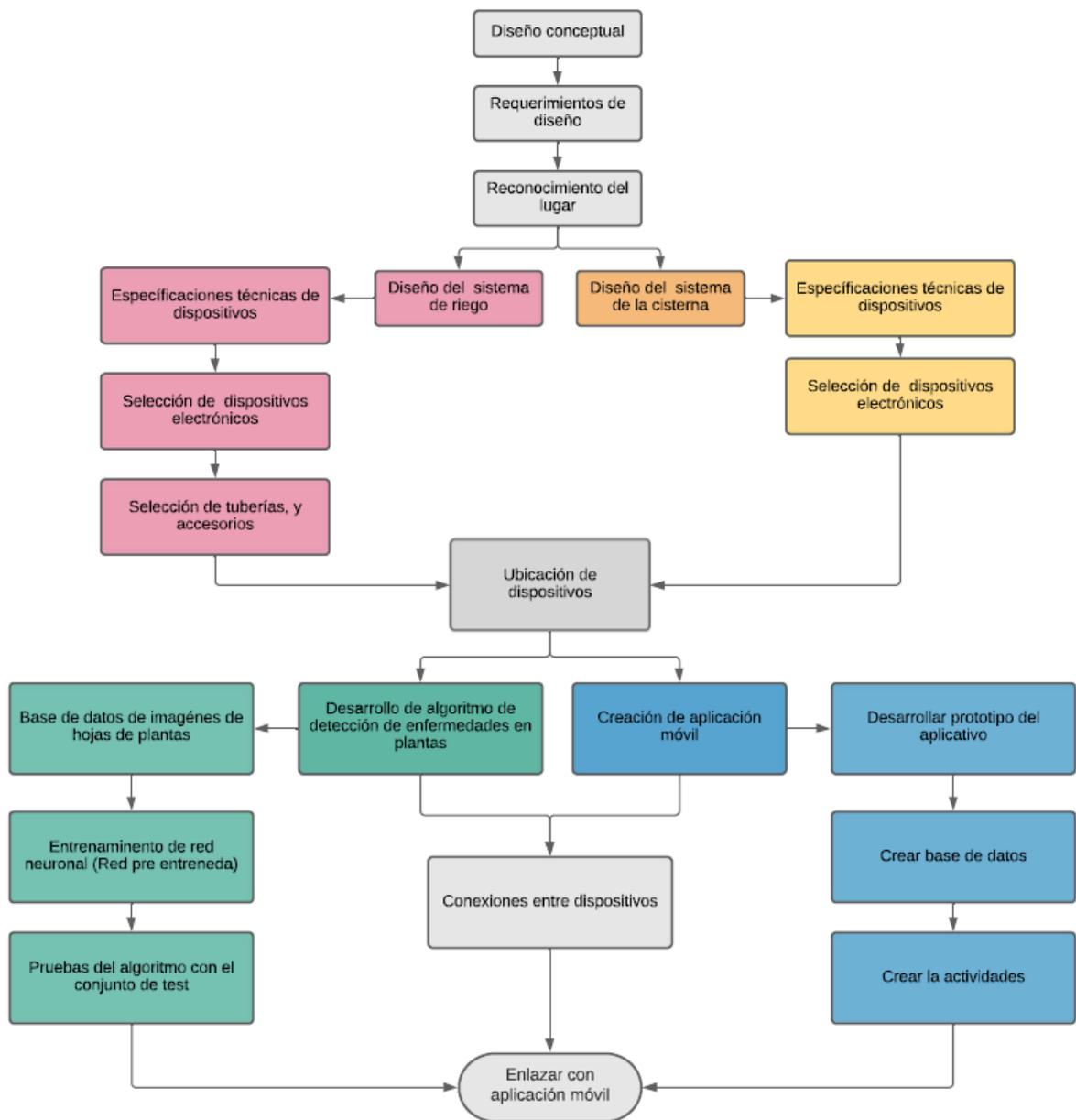


Figura 2.2. Pasos del diseño.

2.5 Requerimientos de diseño:

- El sistema de riego debe cubrir todas las áreas verdes de la hostería, las cuales abarcan aproximadamente 250 m².
- Llevar un control del nivel de agua en la cisterna.
- Asegurar el ahorro de agua y un cuidado adecuado de las plantas.
- Conocer la cantidad de agua consumida en el sistema de riego.

- Amigable con el ambiente.
- Desarrollar una aplicación móvil que permita consultar en tiempo real el estado del sistema.
- El costo de implementación y la mano de obra del proyecto no debe exceder los \$ 1500.

2.5.1 Sensor de humedad del suelo

Los sensores de humedad del suelo miden el contenido volumétrico de agua en la tierra [12]. Suele expresarse como porcentaje.

Requerimientos:

- Profundidad de medición: entre 4 a 8 cm.
- Inalámbrico.
- Impermeable.
- Distancia de comunicación mayor a 300 m.
- Alimentación portátil (baterías).

2.5.2 Sensor de temperatura

Son dispositivos, que proporcionan una medición de temperatura en una forma legible a través de una señal eléctrica. El sensor está compuesto por dos metales, los cuales generan voltaje o resistencia eléctrica una vez que nota un cambio de temperatura [13].

Requerimientos:

- Rango de medición: entre 15 a 40 °C.
- Inalámbrico.
- Distancia de comunicación mayor a 300 m.
- Alimentación portátil (baterías).

2.5.3 Sensor de nivel ultrasónico

El sensor de nivel ultrasónico emite un pulso acústico de alta frecuencia desde su transductor. El pulso viaja a través del espacio de aire, se refleja contra la superficie

del líquido y regresa al transductor. El sensor de nivel ultrasónico mide el tiempo de pulso de vuelo y lo convierte en altura o distancia del nivel [14].

Requerimientos:

- Rango de medición: de 0.05 a 5 m.
- Resistencia al agua.
- Fácil instalación.
- Compatible con Raspberry Pi.

2.5.4 Electroválvula

Una válvula solenoide es una válvula controlada eléctricamente. La válvula cuenta con un solenoide, que es una bobina eléctrica con un émbolo en su centro. Una corriente eléctrica a través de la bobina crea un campo magnético, este campo ejerce una fuerza hacia arriba sobre el émbolo que abre el orificio. Este es el principio básico que se utiliza para abrir y cerrar válvulas solenoides [15].

Requerimientos:

- Accionamiento directo.
- Válvula de dos vías.
- Rango de presión de trabajo: 0 a 100 psi.

2.5.5 Microcontrolador

Un microcontrolador es un dispositivo de circuito integrado programable que se utiliza para controlar otras partes de un sistema electrónico, generalmente a través de una unidad de microprocesador, memoria y algunos periféricos. Estos dispositivos están optimizados para aplicaciones integradas que requieren tanto funcionalidad de procesamiento como una interacción ágil y receptiva con componentes digitales, analógicos o electromecánicos [16].

Requerimientos:

- Comunicación WiFi o Bluetooth.
- Alimentación: 5 a 12 V.
- Corriente: 285 mA a 1 A.
- Bajo costo.

2.5.6 Computadora de control

Una computadora es un aparato electrónico cuyo objetivo es el de recibir y procesar datos para realizar diferentes operaciones. Técnicamente, es un conjunto de circuitos y componentes integrados que pueden ejecutar secuencias, rutinas y operaciones con rapidez, orden y sistematización en función de una serie de aplicaciones prácticas para el usuario programadas previamente [17].

Requerimientos:

- Conexión WiFi o Bluetooth.
- Alimentación: 5 a 12 V.
- Corriente: 285 mA a 1 A.
- Bajo costo y tamaño compacto

2.6 Condiciones para el accionamiento del sistema de riego

Para el accionamiento del sistema de riego, se usarán electroválvulas, las cuales se activarán dependiendo de las condiciones ambientales como son la humedad del suelo y la temperatura.

Para encender el sistema, se deben cumplir dos condiciones, el sensor de humedad debe medir un porcentaje menor al 50% y el sensor de temperatura debe marcar una temperatura menor a los 20 °C, caso contrario el sistema permanecerá desactivado. En la Figura 2.3 se puede observar una representación gráfica del funcionamiento del sistema.

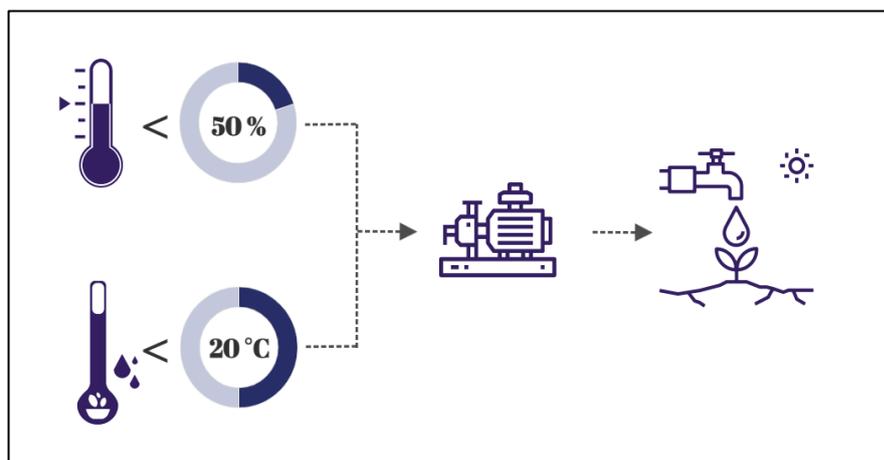


Figura 2.3. Condiciones para el accionamiento del sistema de riego.

2.7 Descripción del diseño

La hostería cuenta con diez diferentes secciones de áreas verdes distribuidas en todo su terreno. Estas secciones poseen formas y tamaños variados, las cuales se pueden observar en la Figura 2.4.

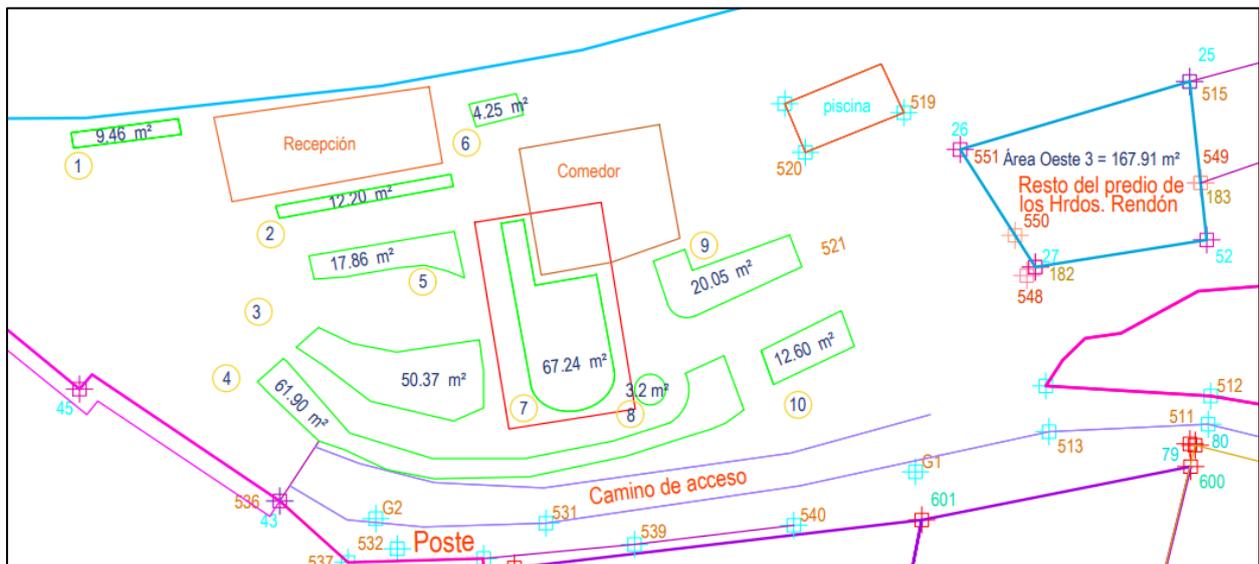


Figura 2.4. Áreas verdes de la hostería Armonía Lodge.

Es por esto por lo que se ha decidido optar por un sistema de riego por goteo subterráneo, dado que facilita y garantiza un riego adecuado para tipos de áreas con superficies irregulares y zonas estrechas, por las siguientes razones:

- Permite ajustar el caudal de agua dependiendo de las necesidades específicas de cada planta y la tasa de infiltración del suelo.
- El agua es aplicada directamente en la raíz de la planta, lo que permite reducir el exceso de riego y la evaporación.

Otras de las principales ventajas de este tipo de riego son:

- Se logra una mayor uniformidad en el riego.
- Crecimiento más saludable de las plantas.
- Elevada eficiencia para evitar pérdidas por evaporación y escorrentía.
- Facilita las labores de jardinería.
- El tiempo de vida útil de las tuberías es mayor ya que no está expuesta a la radiación solar [18].

2.7.1 Área de estudio

Este proyecto se realizó el diseño del sistema de riego de una de las áreas de mayor tamaño e importancia para el cliente, la cual es el área N°7, que se muestra en la Figura 2.5.



Figura 2.5. Área verde de estudio.

El plano de área de estudio con las dimensiones y forma más detalladas se observan en la Figura 2.6. Donde se puede observar la superficie de análisis, tiene un área aproximada a 67.24 m^2 y un perímetro de 39.62 m .

Tomando la forma y dimensiones del área, se ubicarán varios sensores de humedad del suelo a diferentes distancias, las cuales serán determinadas conforme a la ubicación de las tuberías.

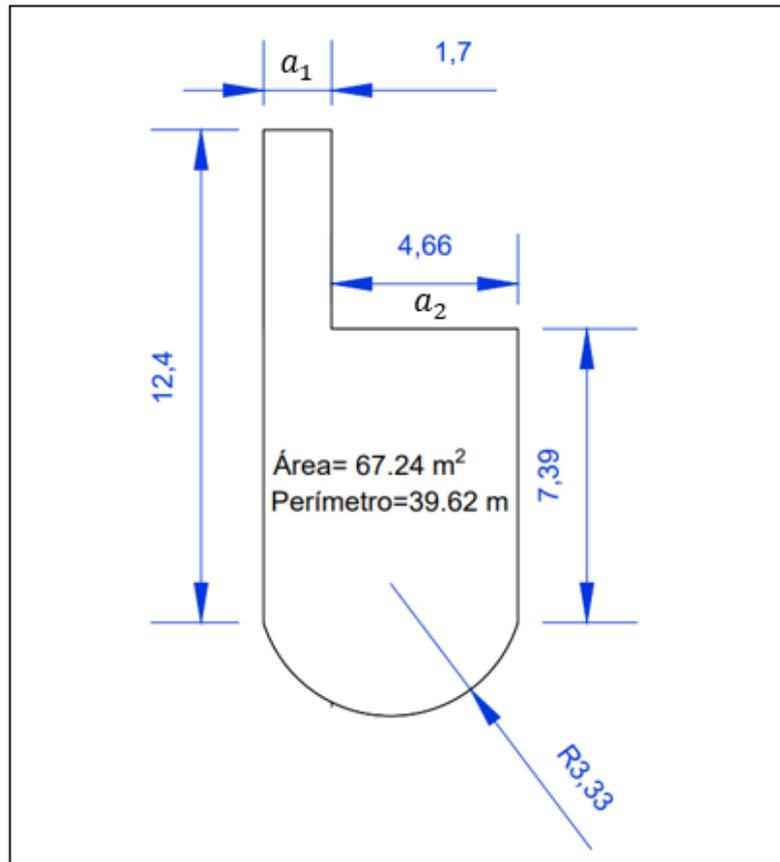


Figura 2.6. Dimensiones del área de estudio.

2.8 Cálculos para la selección y ubicación de tuberías y accesorios

2.8.1 Consideraciones

Para una adecuada selección de las tuberías y accesorios, es necesario conocer características del terreno y sus dimensiones, dado que de esto dependerá algunos parámetros como son:

- Separación de las líneas de goteo.
- Separación entre filas laterales.
- Número de filas necesarias.
- Longitud de tubería.

En primer lugar, uno de los factores más importantes a considerar es el tipo de suelo, dado que de esto depende características importantes como es la tasa de infiltración y el diámetro del bulbo humedecido. En la Tabla 2.2 se muestra las

tasas de infiltración del suelo en cm por hora dependiendo del porcentaje de inclinación y el tipo de suelo.

Tabla 2.2. Tasas de infiltración del suelo. [19]

Tasas de infiltración del suelo en cm por hora			
Porcentaje de inclinación	Arcilla	Limo	Arena
0% - 4%	0,33 - 1,12	1,12 - 2,24	2,24 - 3,18
5% - 8%	0,25 - 0,89	0,89 - 1,78	1,78 - 2,54

Asimismo, en la Figura 2.7 se puede observar el diámetro del bulbo humedecido, es decir la dimensión que abarcará el bulbo formado por las gotas de agua que salen del gotero. Este diámetro depende de la estructura y textura del suelo, el caudal del gotero y el tiempo de riego.

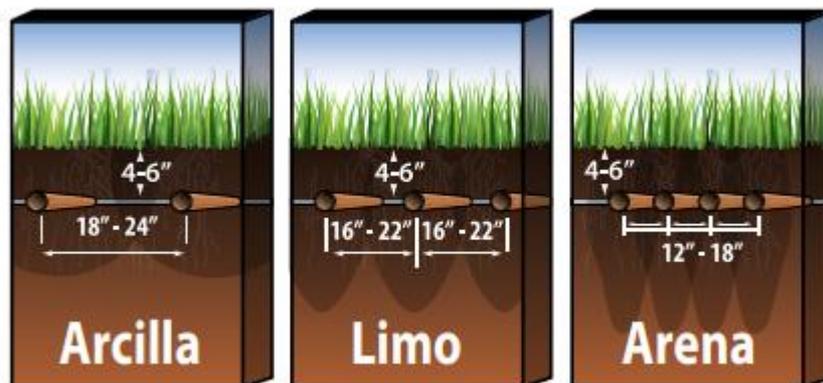


Figura 2.7. Diámetro del bulbo humedecido según el tipo de suelo. [19]

En [20], se describe varias recomendaciones sobre la selección y cálculo de estos parámetros, según el tipo de suelo y la tubería a utilizar.

El tipo de suelo del área de estudio es arenoso, por lo cual siguiendo las recomendaciones de la Tabla 2.3, se tiene que la distancia de separación entre filas laterales debe ser entre los 30 a 45 cm, la separación de líneas de goteo debe ser de 33 cm y el caudal de gotero de 3.41 L/h. Adicionalmente, se recomienda que la profundidad a la que se debe enterrar las tuberías este entre 10 a 15 cm.

Tabla 2.3. Recomendaciones para las tuberías con gotero serie XF. [19]

Recomendaciones para las tuberías con goteros Serie XF			
Tipo de suelo	Arcilla	Limo	Arena
Caudal del gotero (litros por hora)	2,31	2,31 - 3,41	3,41
Separación de goteros (metros)	0,61	0,45	0,3
Separación lateral de tubería con goteros (metros)	0,45 - 0,61	0,41 - 0,56	0,3 - 0,45

Por lo cual basados en las recomendaciones y la disponibilidad de los materiales en el mercado, se seleccionó los siguientes parámetros:

- Separación de las líneas de goteo: 33 cm.
- Separación entre filas laterales: 40 cm.
- Caudal del gotero: 3.41 L/h.
- Profundidad para instalación de tuberías: 10 cm.

Cabe recalcar que la profundidad de las tuberías seleccionada se debe a que el principal tipo de plantas que se encuentra en el área es césped.

2.8.2 Cálculo del número de filas laterales

En primer lugar, se va a determinar el número total de filas laterales necesarias para lo cual se utiliza la siguiente formula:

$$N = \frac{a_r}{S_f} + 1 \quad (2.1)$$

Donde:

a_r : Ancho del área de riego [cm].

S_f : Separación entre filas laterales [cm].

El ancho del área de riego es igual a:

$$a_r = a_1 + a_2 \quad (2.2)$$

$$a_r = 1.7 + 4.66 = 6.36 \text{ [m]}$$

$$a_r = 636 \text{ [cm]}$$

Según expertos se recomienda separar a las tuberías 5 cm de los bordes, para evitar el contacto entre ellos.

Para este caso tenemos dos bordes laterales, por lo cual el nuevo ancho del área de riego es:

$$a_{r1} = a_r - (2x5) \quad (2.3)$$

$$a_{r1} = 636 - (2x5)$$

$$a_{r1} = 626 [cm]$$

Por ende, utilizando la ecuación 2.1 el número de filas laterales necesarias es:

$$N = \frac{636}{40} + 1$$

$$N \approx 15.9$$

$$N \approx 16$$

2.8.3 Longitud de la tubería

Para calcular la cantidad total en metros de tubería necesaria para cubrir toda el área, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Long = \frac{A_r * 100}{S_f} \quad (2.4)$$

Donde:

A_r : Área total de riego [m^2].

El área total de riego se puede observar en la Figura 2.6, donde se detalla las medidas del área de riego, teniendo que:

$$A_r = 67.24 [m^2] = 672400 [cm^2]$$

$$P = 39.62 [m] = 3962 [cm]$$

Por ende, la longitud total de tubería que se necesitará es igual a:

$$Long = \frac{67.24 * 100}{40}$$

$$Long = 168.1 [m]$$

2.8.4 Caudal total del sistema de riego

Para determinar el caudal total se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_T = \frac{A_r * Q_g}{S_f * S_g} \quad (2.5)$$

Donde:

Q_g = Caudal de gotero [L/h]

S_g = Separación de goteros [cm]

Cabe recalcar que para que haya coherencia con las unidades, el área debe estar en unidades de cm^2 .

Reemplazado en la ecuación 2.5 se obtiene que el caudal total es de

$$Q_T = \frac{672400 * 3.41}{40 * 33}$$

$$Q_T = 1737.03 \left[\frac{L}{h} \right]$$

$$Q_T = 28.95 \left[\frac{L}{min} \right]$$

2.8.5 Consumo y ahorro de agua con el sistema inteligente

Actualmente, en la hostería se realiza el riego de las áreas verdes cada dos días, este se realiza de forma tradicional y manual, con ayuda de una manguera. En cada riego para cubrir todas las áreas verdes, se consume aproximadamente un tercio de la cisterna de 7 m^3 (cisterna N° 2), lo que equivale aproximadamente 2.33 m^3 , es decir 2333 litros de agua.

Las áreas verdes de la hostería abarcan aproximadamente 259 m^2 , pero como se mencionó anteriormente este proyecto solo se enfoca en una de las áreas en específico (área N°7), por lo cual, mediante cálculos matemáticos, es posible determinar el consumo de agua solo para esta sección.

$$\begin{array}{l} 2333 L \longrightarrow 259 m^2 \\ x \longrightarrow 67.24 m^2 \\ x = \frac{2333 * 67.24}{259} \\ x = 605 L \end{array}$$

Para asegurar un riego y cuidado óptimo de las plantas, se debe regar aproximadamente 7 litros por cada m^2 , por lo cual se estima que el consumo de agua de este sistema inteligente para esta sección será igual:

$$\begin{array}{l} 7 L \longrightarrow 1 m^2 \\ y \longrightarrow 67.24 m^2 \\ y = 469 L \end{array}$$

Comparando los dos sistemas, el sistema tradicional y el sistema inteligente expuesto, se puede determinar el ahorro de agua como se muestra a continuación:

$$\begin{array}{l} z = 605 - 469 \\ z = 136 L \end{array}$$

Por lo cual el ahorro del sistema de riego inteligente en comparación con el sistema tradicional que actualmente utilizan en la hostería es de 136 litros de agua solo en el área analizada.

Para determinar el consumo de agua total que se tendría en toda la hostería con un sistema inteligente, realizamos los siguientes cálculos:

$$\begin{array}{l} T = 259 * 7 \\ T = 1813 L \end{array}$$

Comparando con el consumo que tiene actualmente, se obtiene:

$$\begin{array}{l} c = 2333 - 1813 \\ c = 520 L \end{array}$$

Esto equivale a un ahorro de agua del 22 %, con respecto al consumo actual.

Si se proyecta este ahorro a un periodo de tiempo mayor, como por ejemplo un año, asumiendo que se el sistema se encenderá cada 2 días, se tendría:

$$\begin{array}{l} b = 182 * 520 \\ b = 94\,640 L \end{array}$$

Es decir, el ahorro de agua sería de 94 640 L o 94.64 m³ en un año.

2.9 Accesorios del sistema de riego

Para la implementación de este sistema se debe tomar en cuenta algunos accesorios fundamentales para garantizar el riego y cuidado adecuado de las plantas.

En primer lugar, se debe colocar una electroválvula, la cual permitirá controlar el flujo del agua, seguida de esta se debe colocar un reductor de presión dado que se está trabajando con tuberías de gotero a bajas presiones.

Además, como medida preventiva, se debe colocar una válvula ventosa, la cual es un dispositivo que evita que se produzca efecto de absorción, provocando la entrada de tierra a los goteros en el momento en que se cierra la electroválvula. Se recomienda ubicar este dispositivo lo más cerca de la electroválvula.

La válvula de vaciado o de descarga también es importante y debe ser colocada en el punto más bajo de cada fase del riego. Esta consiste en un extremo manguera conectado a cada fase de riego, y permite realizar un lavado de la tubería, lo cual se recomienda realizar por lo menos una vez al año.

En la Figura 2.8 se puede observar mejor los dispositivos mencionados, así como su ubicación general dentro de un sistema de riego.

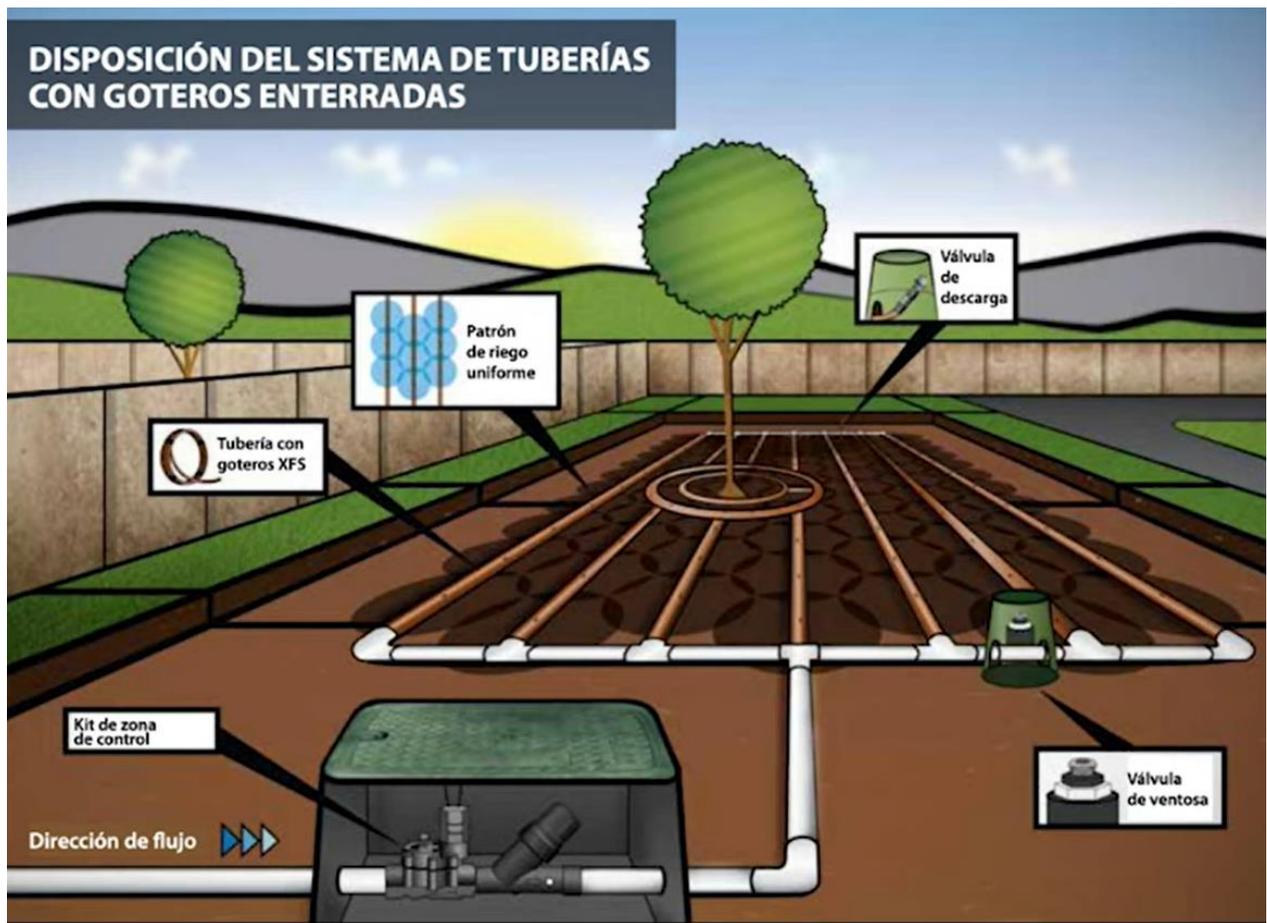


Figura 2.8. Diámetro del bulbo humedecido según el tipo de suelo. [19]

2.10 Control del nivel de agua en la cisterna

La hostería cuenta con dos cisternas, una ubicada en la parte baja (cisterna N° 1) y otra ubicada en la parte alta de la hostería (cisterna N° 2). Ambas cuentan con una altura de 1.75 m y una capacidad de 13 y 7 m³, respectivamente.

La cisterna N°1, es la que abastece a la cisterna N°2, por lo cual solo mediremos el nivel de agua de la cisterna N°2, que es la que se encuentra ubicada más próxima a las áreas verdes.

Para el nivel de agua de la cisterna se tomó en cuentas las medidas del tanque donde se colocará el sensor ultrasónico, tomando en cuenta la forma de la cisterna, el sensor estará ubicado en la parte superior (tapa de la cisterna) y estará conectado por medio de un cable a la Raspberry Pi ubicada en el cuarto de bomba

Toda la información recolectada por el sensor será subida a una base de datos y reflejada posteriormente en la aplicación.

En la Figura 2.9 se observa cómo se encuentran ubicado el cuarto de bomba y la cisterna dentro de la hostería.

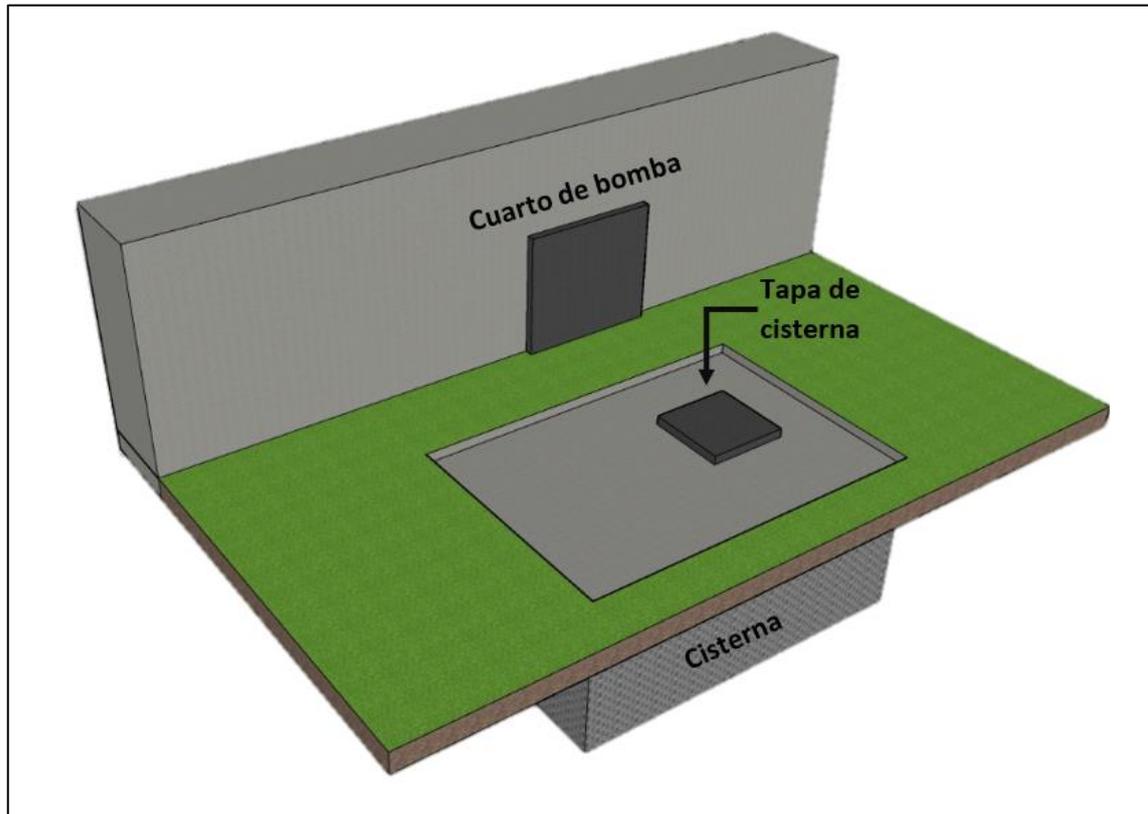


Figura 2.9. Área donde se encuentra la cisterna.

En el Plano 1 del Apéndice A, se muestra el detalle de la cisterna N° 2, con sus respectivas medidas.

2.11 Diseño del aplicativo móvil

El aplicativo móvil estará enlazado a una base de datos y contará con varias ventanas, que permitirá al usuario registrarse e ingresar a la aplicación a través de un usuario y contraseña. Mediante esta aplicación el usuario podrá visualizar el

estado del sistema de riego y de la cisterna, además de poder acceder a la opción de detección de enfermedades en las plantas.

En la opción 1 (sistema de riego), se puede visualizar los parámetros obtenidos por los sensores, es decir, la temperatura del ambiente y la humedad del suelo, además se podrá observar la cantidad de agua total que consumió el sistema, en un día, mes o año específico.

En la opción 2 (cisterna), el usuario podrá visualizar el nivel de agua de su cisterna en tiempo real.

En la opción 3 (detección de enfermedades), en primer lugar, solicitará que se suba una fotografía de la hoja de la planta, la cual será cargada a la aplicación para ser procesada y analizada por el modelo, el cual determinara el estado de salud de esta.

2.11.1 Diagrama entidad-relación

En la Figura 2.10 se muestra en diagrama entidad relación, donde se indica las relaciones de conjuntos de entidades almacenados en la base de datos, y se define los atributos de cada entidad.

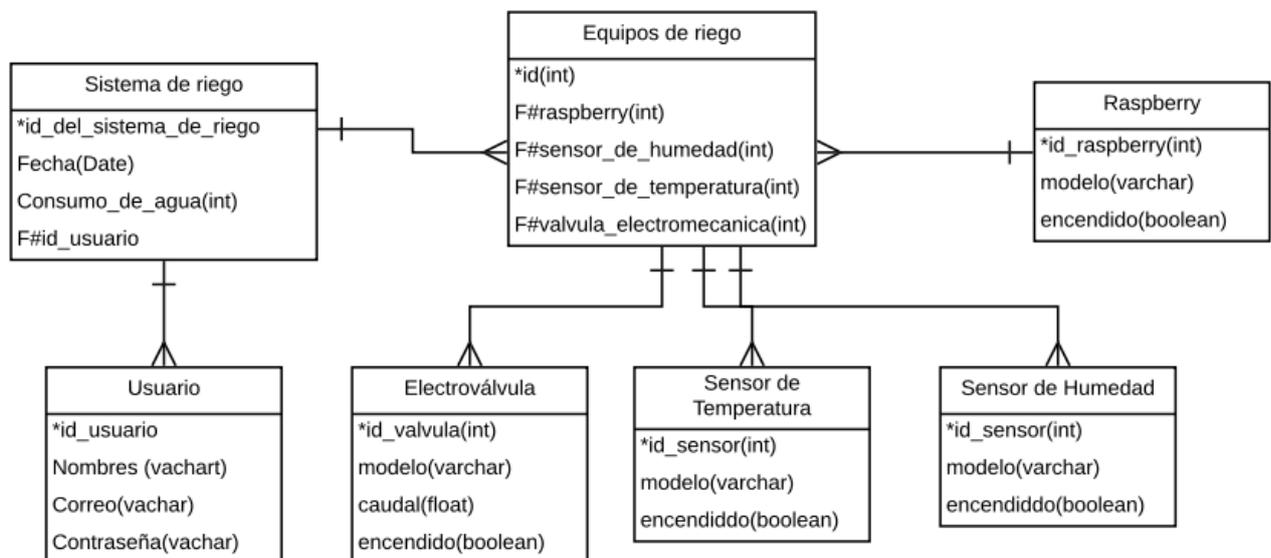


Figura 2.10. Diagrama entidad relación.

2.12 Diseño de algoritmo para la detección de enfermedades

Para el entrenamiento del algoritmo, en primer lugar, se obtuvo la base de datos, la cual fue recopilada de varias fuentes y plataformas de internet como kaggle y Mendeley Data.

La base de datos que se utilizó cuenta con imágenes de hojas de varios tipos de plantas tanto saludables como no saludables. El conjunto de datos final obtenido cuenta con 33479 imágenes de las cuales 8121 son imágenes de hojas sanas y 25538 son imágenes de hojas enfermas, pertenecientes a 10 diferentes tipos de plantas.

Todas las imágenes adquiridas se encuentran clasificadas y etiquetadas en diferentes clases según el tipo de planta y su estado de salud. Las imágenes se encuentran en formato .jpg capturadas con lentes de 18-55 mm con representación de color RGB y 2 unidades de resolución.

Para el desarrollo del algoritmo se utilizó el lenguaje de programación Python, y las librerías Pytorch, numpy y torchvision.

En la Tabla 2.4 se muestran las 32 clases correspondientes a los diferentes tipos de plantas. Y se indica el nombre y la cantidad de imágenes recopiladas para cada una de ellas. Asimismo, entre paréntesis se indica la bacteria un hongo causante de cada enfermedad.

Tabla 2.4. Enfermedades correspondientes a los diferentes tipos de plantas.

N°	Tipo de plata	Clase	N° imágenes
1	<p>Manzana</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Sarna de la manzana (<i>Venturia inaequalis</i>) 	630
		<ul style="list-style-type: none"> Pudrición negra del manzano (<i>Botryosphaeria obtusa</i>) 	621
		<ul style="list-style-type: none"> Roya de cedro del manzano (<i>Gymnosporangium juniperi-virginianae</i>) 	275
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	1645
2	<p>Maíz</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Mancha gris de la hoja de maíz (<i>Cercospora zeae-maydis</i>) 	513
		<ul style="list-style-type: none"> Roya común del maíz (<i>Puccinia sorghi</i>) 	686
		<ul style="list-style-type: none"> Tizón de las hojas del norte del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) 	804
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	1162
3	<p>Cereza</p> 	<ul style="list-style-type: none"> El mildiú polvoroso de la cereza (<i>Podosphaera</i> spp) 	762
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	854
4	<p>Uva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Podredumbre negra de la uva (<i>Guignardia bidwellii</i>) 	902
		<ul style="list-style-type: none"> Sarampión negro de la uva - Esca (<i>Phaeomoniella aleophilum</i>, <i>Phaeomoniella chlamydospora</i>) 	876
		<ul style="list-style-type: none"> Tizón de la hoja de uva (<i>Pseudocercospora vitis</i>) 	1076
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	423
5	<p>Naranja</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Huanglongbing (<i>Candidatus Liberibacter</i> spp) 	1971
6	<p>Durazno</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Mancha bacteriana del durazno (<i>Xanthomonas campestris</i>) 	924
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	360

Tabla 2.4. Enfermedades correspondientes a los diferentes tipos de plantas. (continuación)

N°	Tipo de planta	Clase	N° imágenes
7	<p>Pimiento</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Mancha bacteriana del pimiento (<i>Xanthomonas campestris</i>) 	997
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	1478
8	<p>Papa</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Tizón temprano de la papa (<i>Alternaria solani</i>) 	1000
		<ul style="list-style-type: none"> Tizón tardío de la papa (<i>Phytophthora infestans</i>) 	1000
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	152
9	<p>Fresa</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Quemadura de hoja de fresa (<i>Diplocarpon earlianum</i>) 	1109
		<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	456
10	<p>Tomate</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Mancha bacteriana del tomate (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>). 	2127
		<ul style="list-style-type: none"> Tizón temprano del tomate (<i>Alternaria solani</i>). 	1000
		<ul style="list-style-type: none"> Tizón tardío del tomate (<i>Phytophthora infestans</i>). 	1909
		<ul style="list-style-type: none"> Moho de la hoja del tomate (<i>Fulvia fulva</i>). 	352
		<ul style="list-style-type: none"> Mancha foliar por <i>Septoria</i> del tomate (<i>Septoria lycopersici</i>). 	1771
		<ul style="list-style-type: none"> Ácaro araña de dos manchas del tomate (<i>Tetranychus urticae</i>). 	1676
		<ul style="list-style-type: none"> Mancha objetivo del tomate (<i>Corynespora cassicola</i>) 	1404
<ul style="list-style-type: none"> Saludable 	1591		

Para desarrollar un modelo de red neuronal, generalmente, el conjunto de datos se divide en tres subconjuntos: entrenamiento, validación y prueba. El uso de tres conjuntos independientes permite evaluar si un modelo se generaliza bien para datos nuevos [21].

La distribución de los datos en los tres conjuntos se dio de la siguiente manera:

Conjunto de entrenamiento: 80 %

Conjunto de validación: 10 %

Conjunto de prueba: 10 %

Este porcentaje, se seleccionó de cada clase, para la tener la misma distribución y número de etiquetas en cada conjunto.

En primer lugar, se realiza un aumento de datos ("*data augmentation*"), con la finalidad de incrementar el tamaño del conjunto de datos de entrenamiento y validación. Para lo cual se aplica diferentes transformaciones aleatorias a las imágenes como rotaciones, redimensionamientos y recortes.

Es importante, asegurarse que todas las imágenes tengan una misma distribución, por lo cual se realiza la normalización de los datos, lo que permite garantizar que los datos se encuentren dentro de una misma escala o rango y agilizar el proceso de aprendizaje en el entrenamiento de la red [21].

Actualmente, existen muchas investigaciones acerca de modelos de procesamiento de imágenes, los cuales trabajan con grandes conjuntos de datos y han ido mejorando año tras año, por lo cual para este trabajo se utilizó un modelo pre entrenado, lo permite además de mejorar el rendimiento del modelo, ahorrar tiempo de entrenamiento [22].

La arquitectura de la red neuronal seleccionada es la Resnet-152 que se muestra en la Figura 2.11.

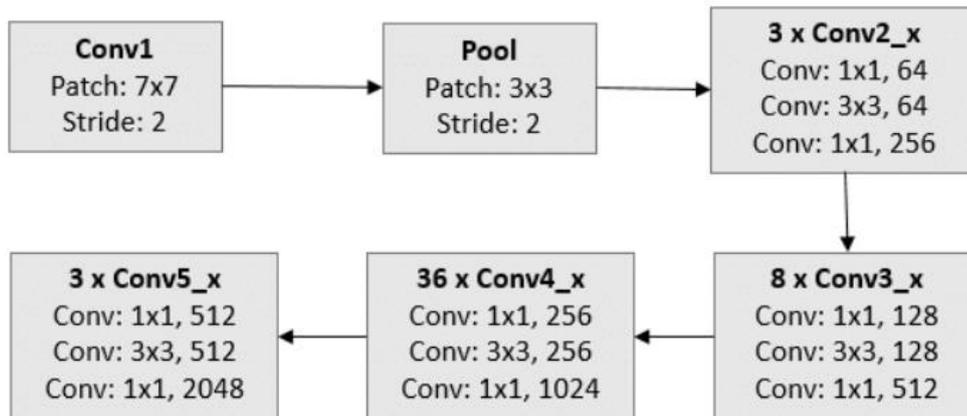


Figura 2.11 . Arquitectura de la resnet-152. [23]

Las funciones de activación utilizadas para la capa intermedias son la función ReLU. Dado que es un modelo de clasificación para la capa final se utiliza la función LogSoftmax, la cual es una derivación de la función Softmax, que se obtiene al aplicar el logaritmo. Esta función devuelve valores de probabilidades entre menos infinito a cero y permite determinar a qué clase pertenece la imagen.

Debido a que en la capa final utilizamos la función logSoftmax, para determinar el rendimiento de nuestro modelo, se utilizó la función de costo Negative log likelihood loss (NLLoss). Para corregir este error en cada época se usó el optimizador de Adams con una tasa de aprendizaje de 0.001.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Selección de sensores

En esta sección se detallan los sensores seleccionados, que cumplen con los requerimientos establecidos, los cuales se muestran en la Tabla 3.1, 3.2 y 3.3.

Cabe recalcar que tanto los sensores de humedad del suelo, como el de temperatura, son sensores inalámbricos de bajo consumo, que utilizan la tecnología de comunicación Bluetooth 4.1 (BLE), para transmitir la información, la cual es enviada cada 5 minutos. La batería de estos dispositivos tiene una vida útil aproximadamente de dos años.

Tabla 3.1. Sensor de humedad del suelo

SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO	
<p>MCI BLUE SENSE</p> <p>Es un sensor de detección de humedad del suelo diseñado para un sistema de riego automático. Este sensor tiene conexión inalámbrica con tecnología bluetooth 4.1, su frecuencia de envío de datos le permite ser un dispositivo de bajo consumo, por lo que estos dispositivos tienen una autonomía aproximada de más de dos años con una sola pila [24].</p>	 <p>Figura 3.1. Sensor de humedad del suelo. [24]</p>
Características:	
Rango de humedad relativa	0 a 100%
Dimensiones	35mm x 81mm
Comunicación	Bluetooth 4.1 Smart (BLE)
Alimentación	Batería CR450
Marca	MCI Electronics

Tabla 3.2. Sensor de temperatura

SENSOR DE TEMPERATURA	
<p style="text-align: center;">MCI BLUE SENSE T&H</p> <p>Este sensor de temperatura inalámbrico de bajo costo, con tecnología Bluetooth. Estos sensores son pequeños y transmiten información cada 5 minutos lo cual le permite tener una autonomía aproximadamente de 2 años [25].</p>	 <p>Figura 3.2. Sensor de temperatura. [25]</p>
Características:	
Rango de detección de temperatura:	-40.0 °C a 125 °C
Precisión	± 2%
Comunicación:	Bluetooth 4.1 Smart (BLE)
Alimentación	Batería CR450
Marca	Blue Sense

Tabla 3.3. Sensor de nivel de agua

SENSOR DE NIVEL DE AGUA	
<p style="text-align: center;">CQROBOT-CQRSENYW002</p> <p>Es un sensor ultrasónico el cual funciona utilizando principios ópticos. Una de las ventajas de este sensor fotoeléctrico es su buena sensibilidad y la ausencia de piezas mecánicas, lo que significa menos calibración. El resistente a la corrosión y su instalación es sencillo, además puede soportar altas temperaturas y presiones [26].</p>	 <p>Figura 3.3. Sensor de nivel de agua. [26]</p>
Características:	
Rango mínimo de medición	0.5mm
Precisión	± 0.5
Comunicación	One Wire
Voltaje de funcionamiento	5 V
Corriente de funcionamiento	12 mA
Marca	CQRobot Ocean

3.2 Selección de actuadores

En esta sección se detallan los actuadores seleccionados como son la electroválvula y relé.

Cabe recalcar que el relé escogido, viene incorporado con un módulo Bluetooth, para recibir la información del computador y controlar el accionamiento de la electroválvula.

En las Tabla 3.4 y Tabla 3.5 se muestran las especificaciones técnicas de cada uno de los dispositivos.

Tabla 3.4. Electroválvula

ELECTROVÁLVULA	
<p>Electroválvula solenoide 3/4" NPT DC12V</p> <p>Las válvulas solenoides son un tipo de electroválvula todo/nada o abierto/cerrado. Tienen dos partes: el solenoide y el cuerpo de plástico [27].</p> <p>Apto para uso con caliente o fría agua, gas, aire, fluidos de viscosidad muy baja, aceites e hidrocarburos.</p>	 <p>Figura 3.4. Electroválvula. [28]</p>
Características:	
Presión	0 a 128 psi
Voltaje	DC 12 V
Corriente	0.6 A
Potencia de consumo	10-13 W
Temperatura de funcionamiento	-5 a 80 °C
Marca	AOMAG

Tabla 3.5. Módulo relé

MÓDULO RELÉ	
<p>Módulo Bluetooth 4.0 BLE incorporado CC2541 Módulo Relé de un canal con un módulo Bluetooth 4.0 BLE (CC2541) incorporado. Además, cuenta con una funda protectora para evitar el polvo y la electricidad estática.</p>	
Características:	
Comunicación	Bluetooth 4.0 BLE
Alcance	100 m
Voltaje	DC 12 V
Corriente de funcionamiento	40 mA
Voltaje máximo de control de conmutación	AC 250 v
Potencia máxima de carga	600 W
Marca	DSD TECH

Figura 3.5. Módulo relé. [29]

3.2.1 Selección del computador

Tanto para el control del sistema de riego como el control de nivel de agua de la cisterna se seleccionó el mismo computador (Raspberry Pi 3). Este computador se encargará de recibir e interpretar los datos enviados por los sensores para posteriormente subirlos a la base de datos.

En la Tabla 3.6 se muestran las especificaciones técnicas del dispositivo seleccionado.

Tabla 3.6. Computadora de control

COMPUTADORA DE CONTROL	
<p>RASPBERRY PI 3</p> <p>La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, que trabaja con el sistema operativo Linux [30].</p>	 <p>Figura 3.6. Computador de control. [31]</p>
Características:	
Procesador	BCM2837 ARMv8 de 64bits con 1,2GHz
Pines GPIO	40
Puertos USB	4
Memoria RAM	1 GB LPDDR2
Almacenamiento	MicroSD
Puerto Ethernet	1x10/100
Bluetooth	4.1
Conectividad	WiFi – Bluetooth 4.1
Voltaje de alimentación	5-5.1 V
Corriente de alimentación	2,5 A

3.3 Base de datos

3.3.1 Firebase

Para la creación y manejo de la base de datos, en este proyecto se seleccionó Firebase una plataforma de desarrollo de software, que se presenta como una solución para aplicaciones móviles y páginas web e incluye servicios para crear, probar y administrar aplicaciones [32].

3.4 Algoritmo para la detección de enfermedades

El modelo fue entrenado durante 10 épocas, donde se evidencia que en cada época los errores de entrenamiento y validación van disminuyendo como se muestra en la

Figura 3.7, obteniendo finalmente un error de entrenamiento (*train loss*) de 0.1437 y un error de validación (*val loss*) de 0.757.

```
Using GPU: True
Epoch 1/10
-----
/usr/local/lib/python3.6/dist-packa
"https://pytorch.org/docs/stable/
train Loss: 0.6217 Acc: 0.8202
val Loss: 0.1503 Acc: 0.9481

Epoch 2/10
-----
train Loss: 0.2789 Acc: 0.9071
val Loss: 0.1398 Acc: 0.9502

Epoch 3/10
-----
train Loss: 0.2564 Acc: 0.9162
val Loss: 0.1011 Acc: 0.9595

Epoch 4/10
-----
train Loss: 0.2257 Acc: 0.9209
val Loss: 0.2068 Acc: 0.9360

Epoch 5/10
-----
train Loss: 0.1624 Acc: 0.9454
val Loss: 0.0786 Acc: 0.9709

Epoch 6/10
-----
train Loss: 0.1536 Acc: 0.9464
val Loss: 0.0798 Acc: 0.9701

Epoch 7/10
-----
train Loss: 0.1487 Acc: 0.9493
val Loss: 0.0727 Acc: 0.9723

Epoch 8/10
-----
train Loss: 0.1470 Acc: 0.9472
val Loss: 0.0830 Acc: 0.9694

Epoch 9/10
-----
train Loss: 0.1393 Acc: 0.9506
val Loss: 0.0701 Acc: 0.9737

Epoch 10/10
-----
train Loss: 0.1437 Acc: 0.9502
val Loss: 0.0757 Acc: 0.9701

Training complete in 11m 29s
Best valid accuracy: 0.973703
```

Figura 3.7. Error de entrenamiento y validación del modelo.

Como se puede observar el valor de error de validación es inferior al de entrenamiento, lo que indica que el modelo no está sobre ajustado y generaliza bien ante un conjunto nuevo de datos.

Una vez finalizado el entrenamiento, y utilizando el conjunto de prueba, se obtiene una precisión del modelo del 97.4 %, como se puede observar en la Figura 3.8.

Testing Accuracy: 0.023	Testing Accuracy: 0.514
Testing Accuracy: 0.045	Testing Accuracy: 0.536
Testing Accuracy: 0.067	Testing Accuracy: 0.558
Testing Accuracy: 0.089	Testing Accuracy: 0.578
Testing Accuracy: 0.112	Testing Accuracy: 0.600
Testing Accuracy: 0.134	Testing Accuracy: 0.621
Testing Accuracy: 0.157	Testing Accuracy: 0.643
Testing Accuracy: 0.180	Testing Accuracy: 0.665
Testing Accuracy: 0.202	Testing Accuracy: 0.687
Testing Accuracy: 0.224	Testing Accuracy: 0.710
Testing Accuracy: 0.246	Testing Accuracy: 0.732
Testing Accuracy: 0.268	Testing Accuracy: 0.755
Testing Accuracy: 0.290	Testing Accuracy: 0.776
Testing Accuracy: 0.312	Testing Accuracy: 0.798
Testing Accuracy: 0.335	Testing Accuracy: 0.820
Testing Accuracy: 0.357	Testing Accuracy: 0.842
Testing Accuracy: 0.380	Testing Accuracy: 0.863
Testing Accuracy: 0.403	Testing Accuracy: 0.886
Testing Accuracy: 0.425	Testing Accuracy: 0.908
Testing Accuracy: 0.448	Testing Accuracy: 0.930
Testing Accuracy: 0.469	Testing Accuracy: 0.952
Testing Accuracy: 0.492	Testing Accuracy: 0.974

Figura 3.8. Precisión del modelo.

3.4.1 Pruebas de funcionamiento del modelo

En las Figuras 3.9 y 3.10 se puede observar, el resultado al cargar dos imágenes de dos diferentes tipos de plantas. En la primera se cargó una hoja de uva en estado saludable y se observa como el modelo lo clasifica correctamente. En la segunda figura se cargó una imagen de una hoja no saludable de tomate que presenta la “Mancha foliar por Septoria”, y nuevamente se observa una correcta clasificación.

Grapy_healthy



Resultado

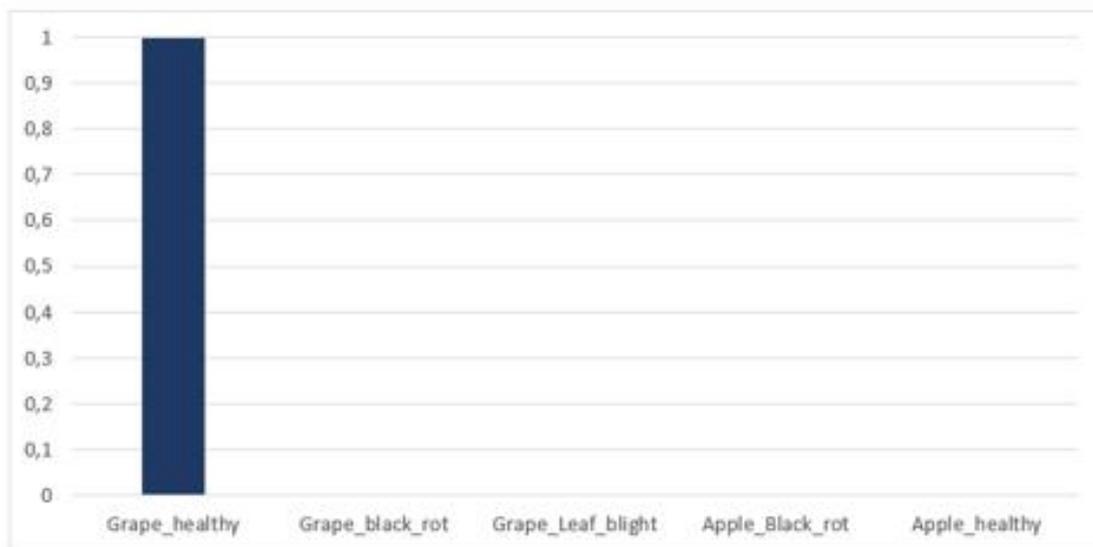


Figura 3.9. Resultado con hoja saludable.

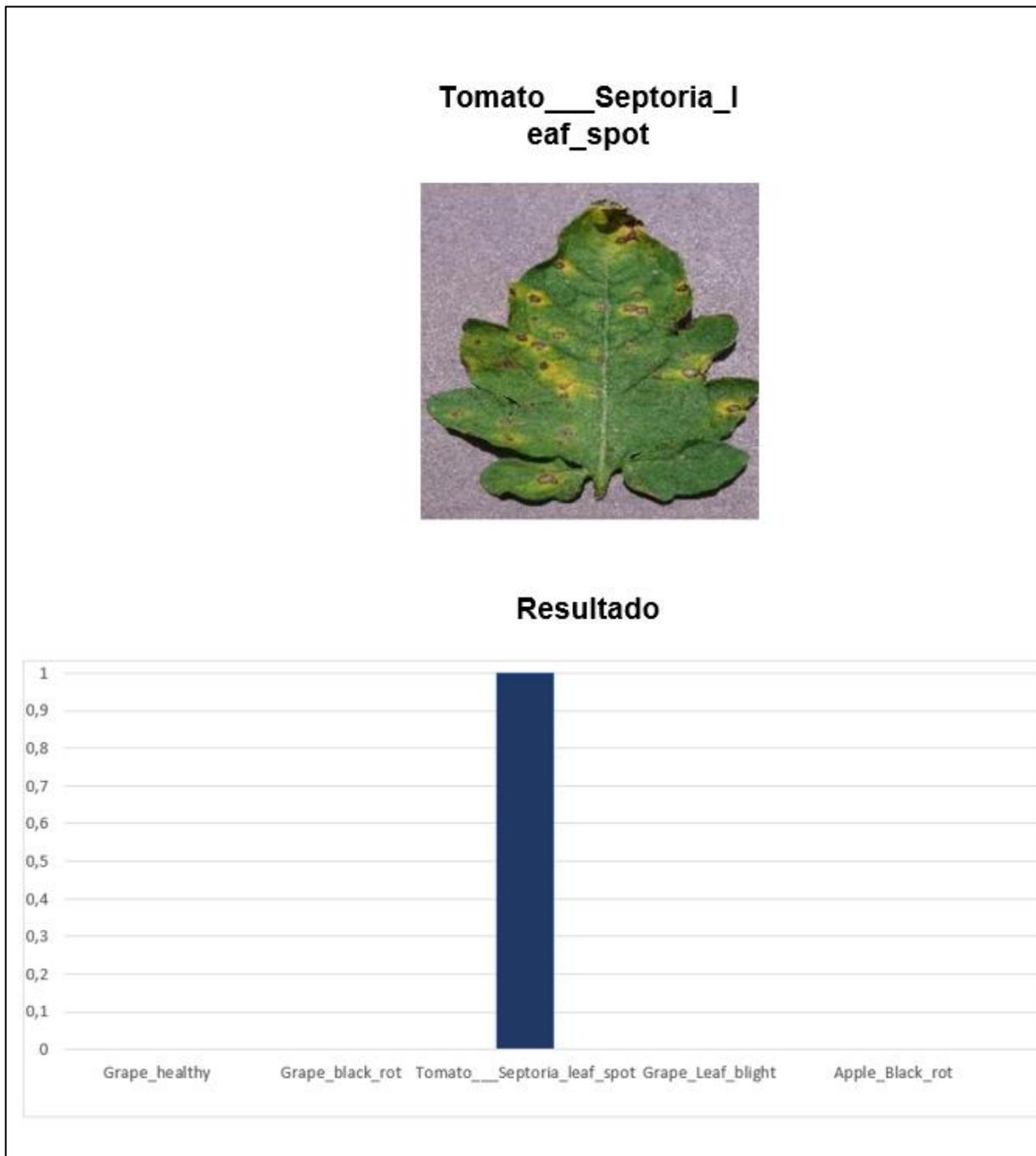


Figura 3.10. Resultado con hoja enferma.

3.5 Aplicativo móvil

El prototipo de la aplicación desarrollada cuenta con varias ventanas, que permiten brindar una interfaz amigable al usuario.

En primer lugar, la aplicación cuenta con una ventana de Inicio de Sesión (Figura 3.11 a), donde el usuario, debe ingresar su correo y contraseña, para poder acceder

a la información de su sistema. En el caso, que no tenga una cuenta registrada, existe la opción de crear una cuenta (Figura 3.11 b).

(a) Inicio de sesión.



b) Crear cuenta.



c) Menú principal



Figura 3.11. Interfaz inicial de aplicación móvil.

El menú principal (Figura 3.11 c), cuenta con tres opciones diferentes, que permiten al usuario monitorizar su sistema, y se describen a continuación:

- **Opción 1: Sistema de riego**

Esta opción permite al usuario realizar consultas sobre las condiciones ambientales de su sistema como son temperatura y humedad del suelo. Además, puede visualizar por medio de gráficos estadísticos el consumo de agua diario, mensual o anual de su sistema de riego. Su interfaz se puede observar en la Figura 3.12.

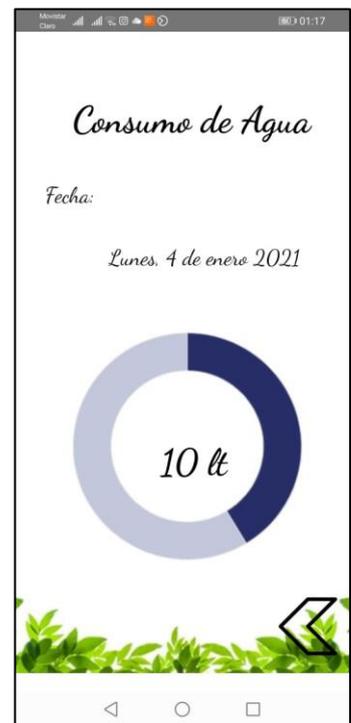
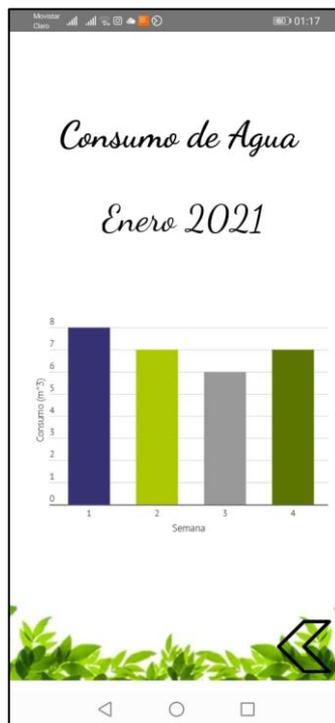
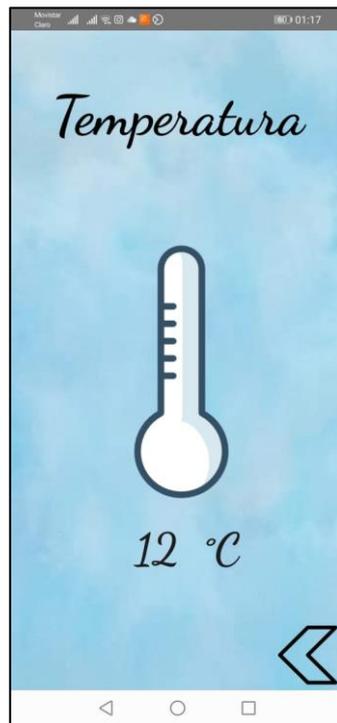


Figura 3.12. Control del sistema de riego por medio de la aplicación.

- **Opción 2: Cisterna**

En esta opción el usuario puede visualizar el nivel del agua actual en su cisterna, como se muestra en la Figura 3.13.

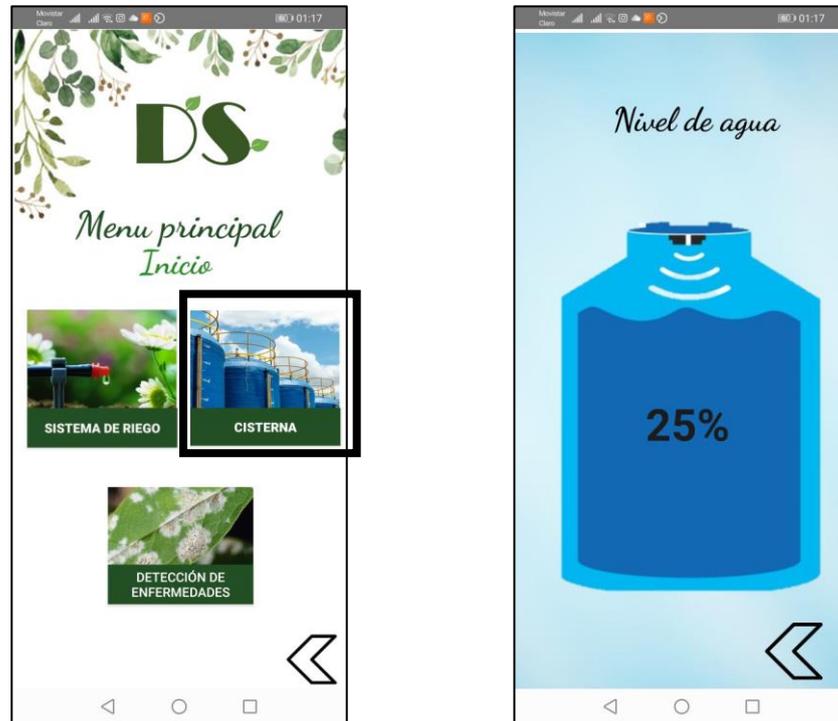


Figura 3.13. Control del nivel del agua por medio de la aplicación.

- **Opción 3: Detección de enfermedades**

Para esta opción se requiere que el usuario tome o suba una fotografía desde su galería de la hoja de la planta que desea analizar a la aplicación móvil, para ser procesada y analizada por el modelo. Una vez finalizado el análisis, se indicará en el aplicativo el estado de salud de la planta. En caso de que el modelo identifique algún tipo de enfermedad se mostrará más información, tal como se muestra en la Figura 3.14.

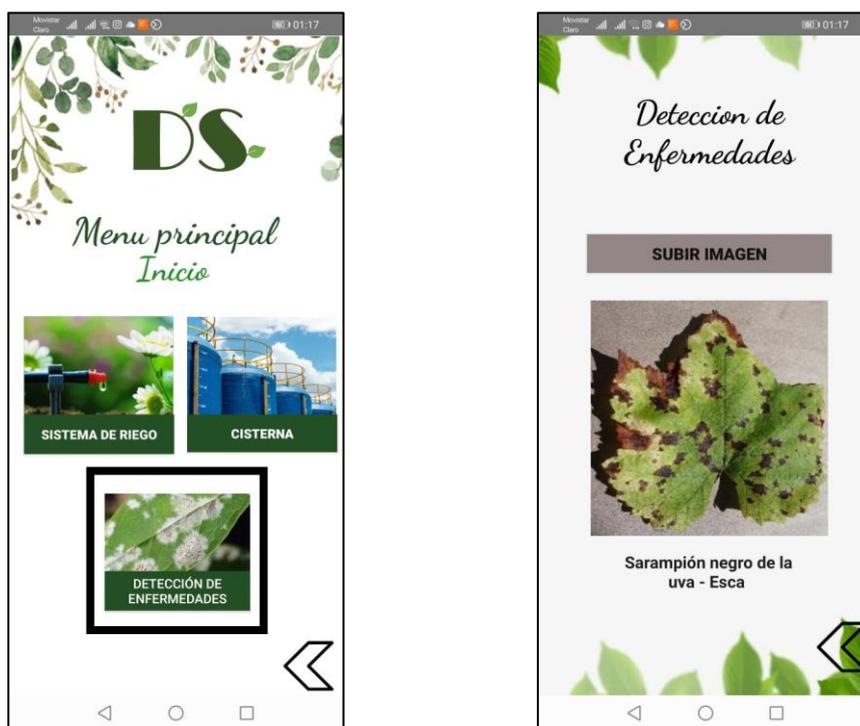


Figura 3.14. Detección de enfermedades por medio de la aplicación

3.6 Selección de tuberías

En base a los cálculos realizados y las consideraciones detalladas anteriormente, la tubería seleccionada es la tubería de gotero serie XFS, la cual se detalla en la Tabla 3.7. Ésta, además de cumplir con todos los requerimientos, presenta varias ventajas frente a otras marcas, entre las que podemos destacar:

- El uso de tecnología Copper Shield, permite proteger el gotero de la entrada de raíces, logrando un sistema que no requiere mantenimiento o cambio de productos químicos.
- La tubería de doble capa logra una resistencia sin competencia a los productos químicos, crecimiento de algas y daños de los rayos UV, prolongando la vida útil de las mismas a aproximadamente 16 años.
- El diseño de bajo perfil del gotero reduce la pérdida de presión en línea, lo que permite lograr distancias laterales más largas y reducir los tiempos de instalación.
- Como el gotero es auto compensante, proporciona un caudal constante en toda la longitud lateral, asegurando la mayor uniformidad.

Tabla 3.7. Tuberías XFS

TUBERIA	
<p style="text-align: center;">TUBERIA XFS</p> <p>La tubería por goteo XFS protege el gotero de la intrusión de raíces. XFS se puede usar en césped arbustos y áreas tapizantes. También es perfecta para áreas de plantación pequeñas y estrechas, así como áreas con curvas cerradas o muchos desniveles [17] .</p>	 <p>Figura 3.15. Tuberías XFS. [28]</p>
Características:	
Diámetro interior	13,61 mm
Diámetro exterior	16 mm
Grosor	1,25 mm
Presión	0,59 a 4,14 bar
Caudal	2,3 L/h
Temperatura	Agua: Hasta 37,8 °C Ambiente: Hasta 51,7 °C
Marca	Rain Bird

3.7 Sistema de riego

Para el diseño y ubicación de las tuberías se realizaron los cálculos respectivos, los cuales se detallan en la sección 2.8. Por lo cual, el esquema final de la implementación de las tuberías en el área de estudio se muestra en la Figura 3.16. La separación entre cada línea de tuberías es equidistante en todo el terreno y es igual a 40 cm, como se puede observar en la Figura 3.17.

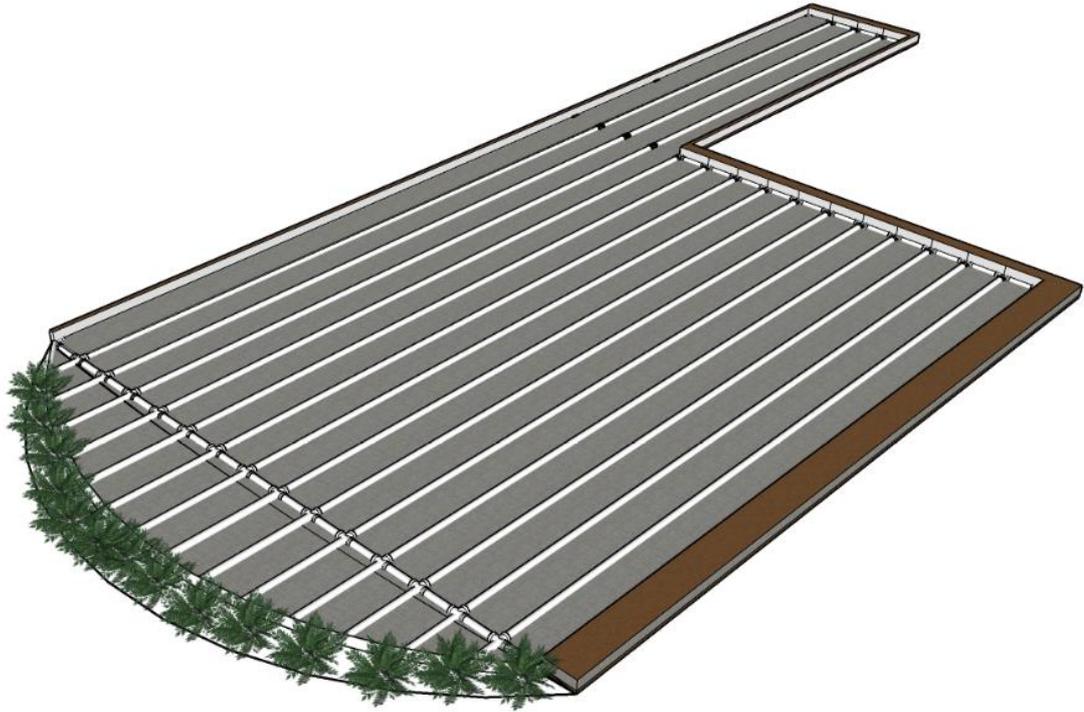


Figura 3.16. Distribución de las tuberías.

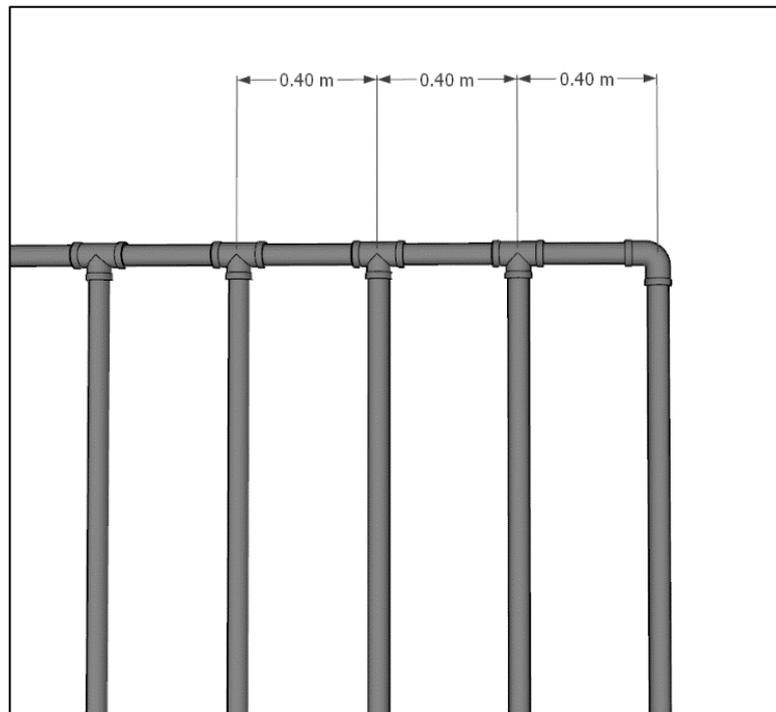


Figura 3.17. Separación entre tuberías.

Para la ubicación de los sensores de humedad, se consideró un riego uniforme por toda la superficie, por lo cual se utilizaron dos sensores, ubicados en los extremos del área, tal como se muestra en la Figura 3.18.

Una de las ventajas de utilizar estos sensores, es que son sensores inalámbricos, que pueden reubicarse fácilmente en caso de ser necesario o que el cliente lo requiera.

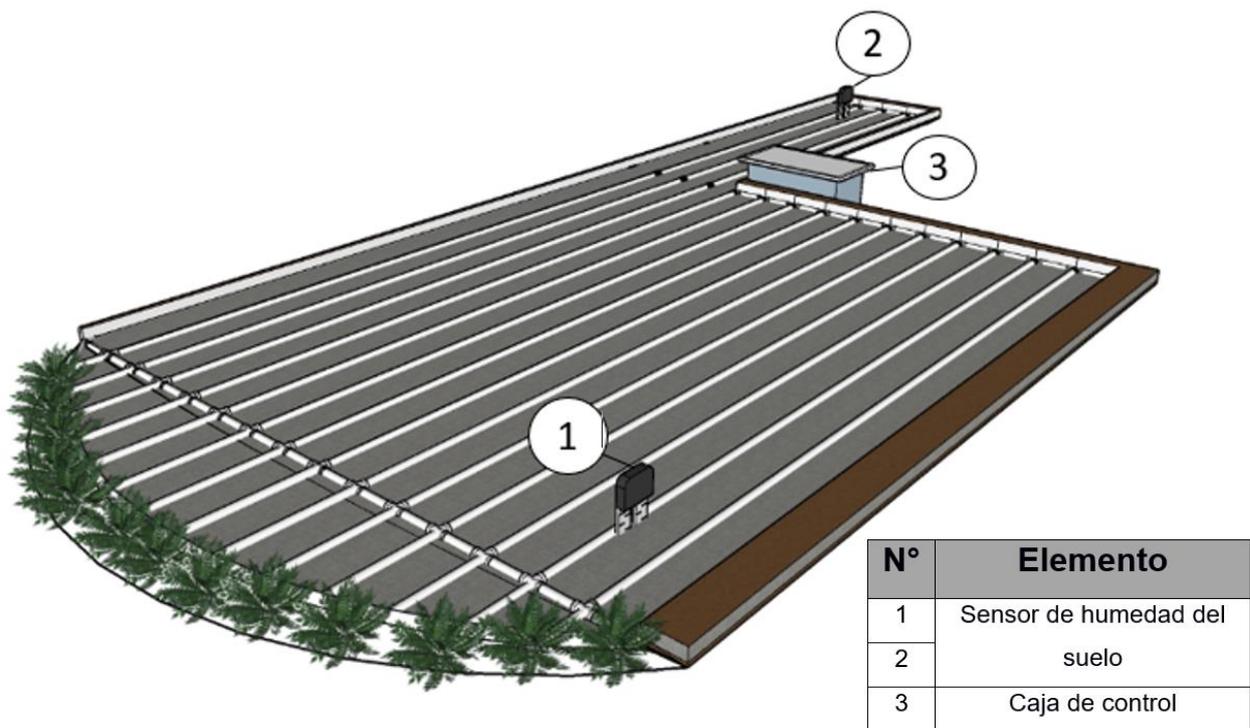


Figura 3.18. Ubicación de los sensores de humedad y la caja de control.

Además, se diseñó una caja de control, para la protección de dispositivos, la cual se encuentra ubicada en un extremo del área, tal como se observa en la Figura 3.18.

En esta caja, se encuentran colocados la electroválvula y el relé, que son los dispositivos de control para la activación del sistema de riego. Su ubicación se detalla en la Figura 3.19.

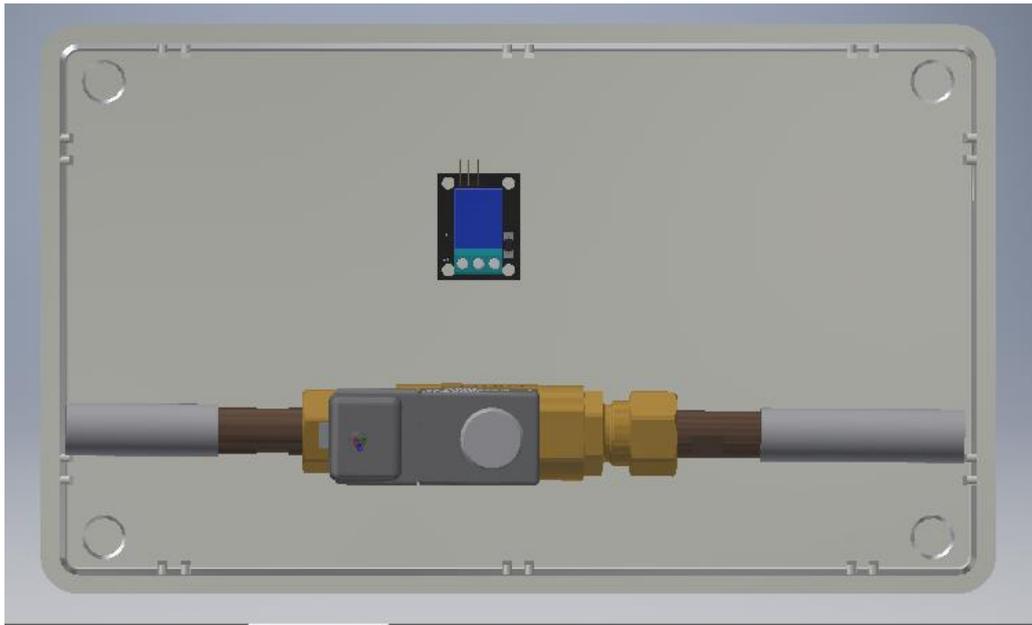


Figura 3.19. Ubicación de la electroválvula en la caja de protección.

3.8 Conexiones

Para tener un mayor manejo y control del sistema, como se mencionó anteriormente se separó el mismo en dos módulos, uno para el control del sistema de riego y otro para el control de la cisterna.

3.8.1 Conexiones para el control del sistema de riego

Los dispositivos utilizados en este módulo son los sensores de humedad del suelo y temperatura, así como también, la electroválvula con su relé, y la Raspberry Pi.

En la Figura 3.20 se muestra el diagrama esquemático de la conexión de los dispositivos. Como se puede observar, el proceso comienza con la información enviada por los sensores de humedad y temperatura a través de bluetooth, la cual es recibida por la Raspberry Pi, que se encarga de enviar la señal al relé, y este a su vez la envía a la electroválvula, para activar o desactivar el riego de las plantas. De forma simultánea, la Raspberry Pi, también está conectada a la base de datos, donde sube la información recolectada.

Esta base de datos se encuentra asociada con la aplicación, por lo cual la información se actualiza en tiempo real.

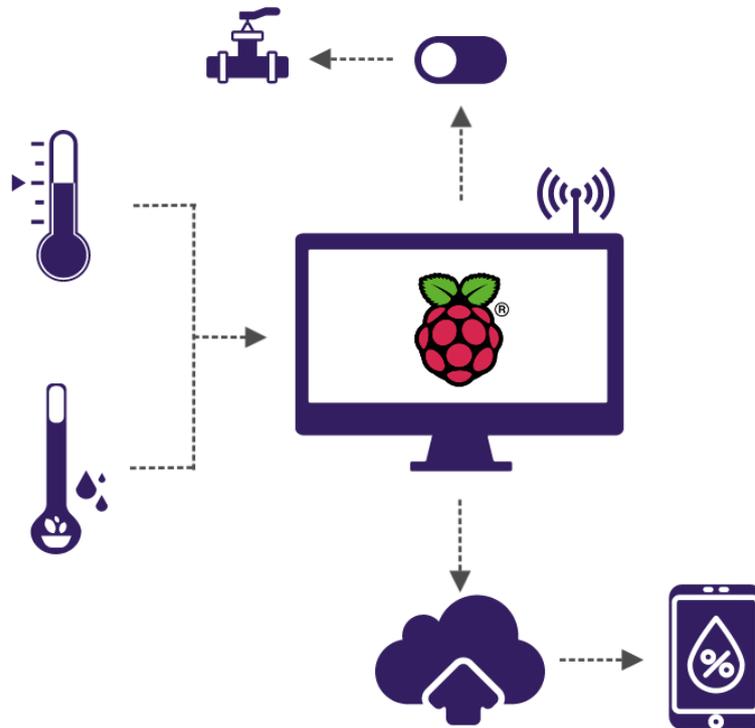


Figura 3.20. Diagrama esquemático del control del sistema del agua.

En la Figura 3.21 se muestran las conexiones eléctricas, entre los elementos que permiten el control del sistema de riego.

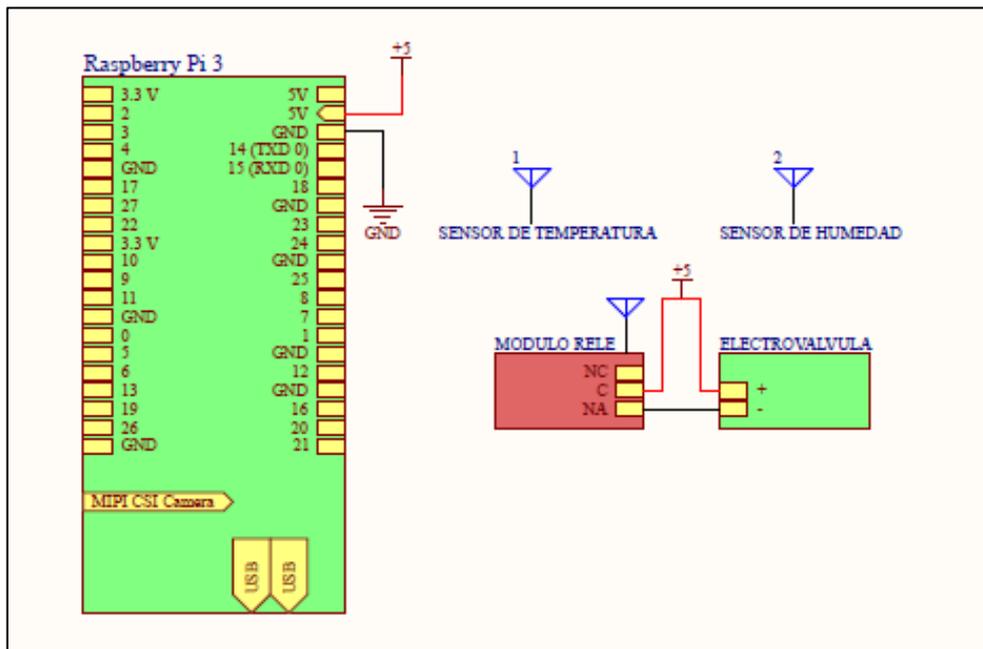


Figura 3.21. Conexiones eléctricas del control del sistema de agua.

3.8.2 Conexiones para el control de la cisterna

Los dispositivos utilizados en este módulo son el sensor ultrasónico para medir el nivel de agua y la Raspberry Pi.

En la Figura 3.22 se muestra el diagrama esquemático de la conexión de los dispositivos. Como se puede observar, el proceso comienza con la información enviada por el sensor ultrasónico la cual es recibida por la Raspberry Pi, que se encarga de subir y actualizar la base de datos, y es enviada a la aplicación móvil, debido a que se encuentran asociados.

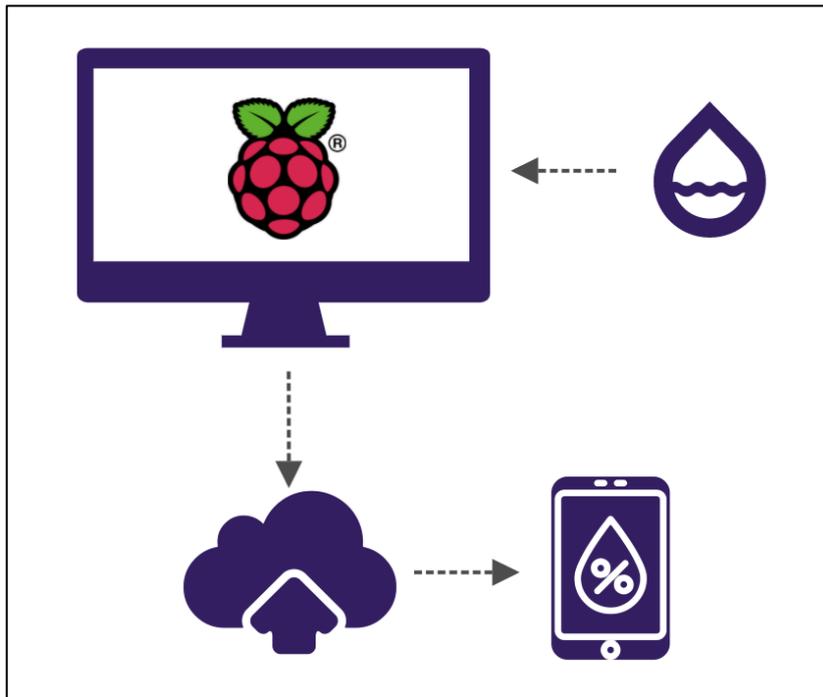


Figura 3.22. Diagrama esquemático del control de la cisterna.

Las conexiones eléctricas de los elementos que permiten el control del nivel de agua en la cisterna se muestran en la Figura 3.23

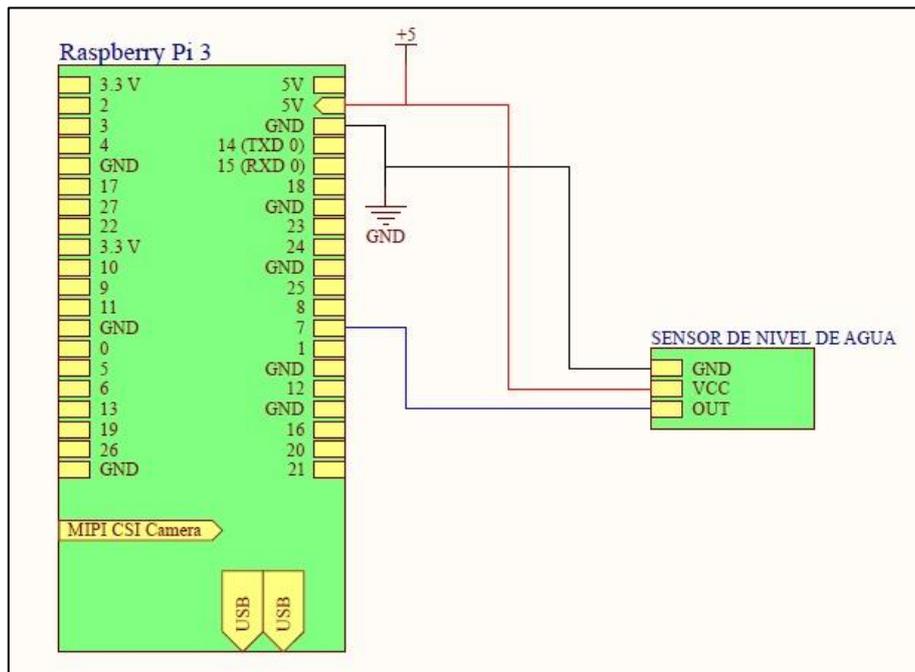


Figura 3.23. Conexiones eléctricas del control de la cisterna.

3.9 Protección de dispositivos electrónicos

Con el objetivo de resguardar y proteger a los equipos electrónicos de los factores ambientales como la humedad, salinidad, radiación solar, entre otros, se diseñaron tres diferentes cajas, las cuales se detallan en los anexos (PLANO 2 y PLANO 3).

La caja N° 1, denominada como caja de control, es en la cual se colocarán la electroválvula y el relé seleccionados. Su diseño se muestra en la Figura 3.24 y Figura 3.25.

La caja N° 2 y caja N° 3, contendrán la Raspberry Pi para el control del sistema de riego y la Raspberry Pi para el control del nivel del agua en la cisterna, respectivamente, ver Figura 3.26 y Figura 3.27.

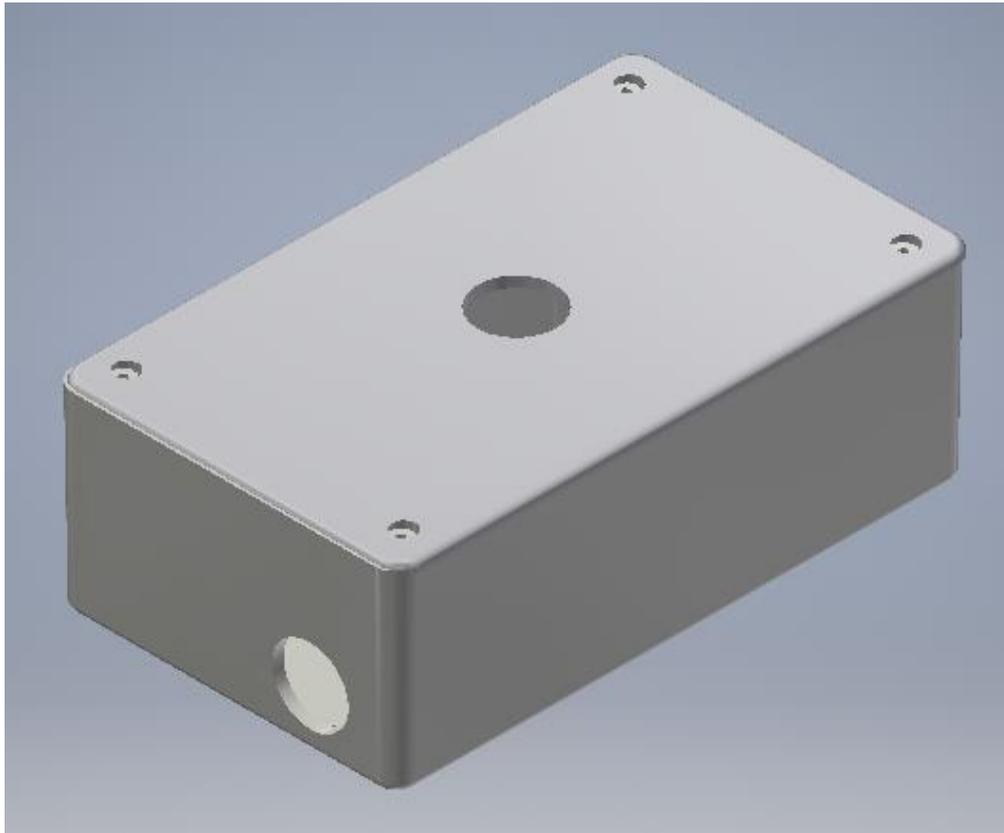


Figura 3.24. Vista isométrica de las cajas de protección para circuito encargado de la activación del sistema de riego. (Caja N°1)

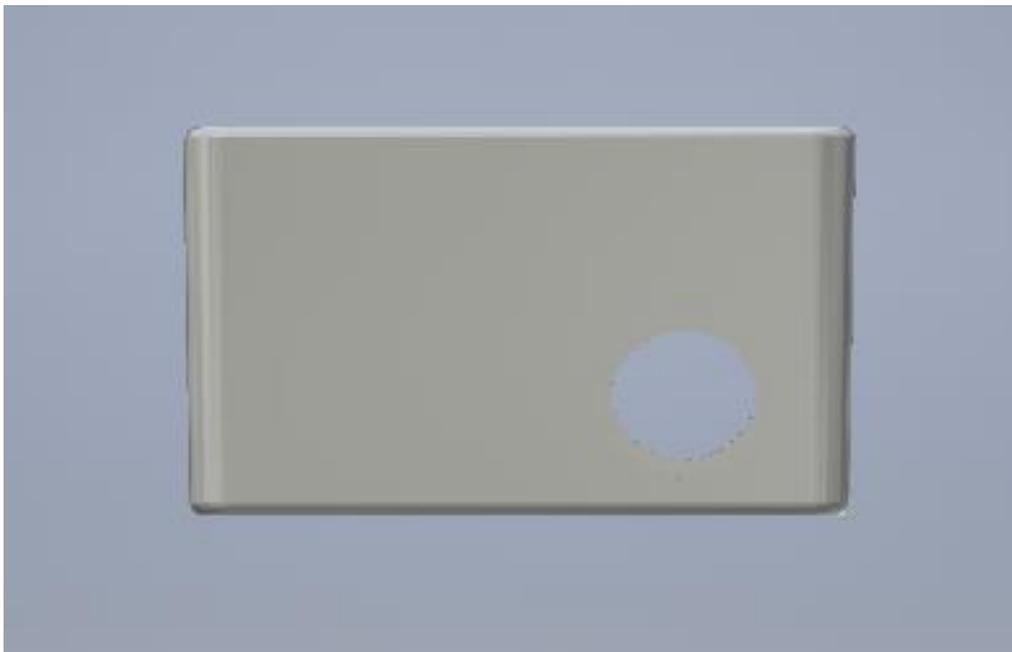


Figura 3.25. Vista frontal de la caja N° 1.

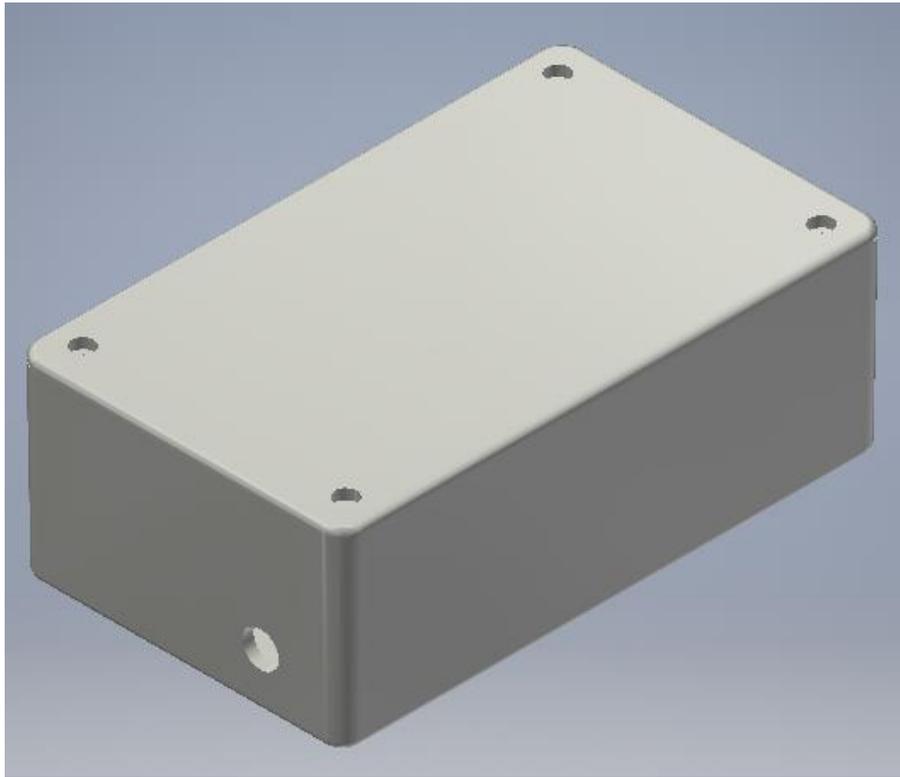


Figura 3.26. Vista isométrica de la caja de protección para Raspberry. (Caja N° 2 y caja N°3)

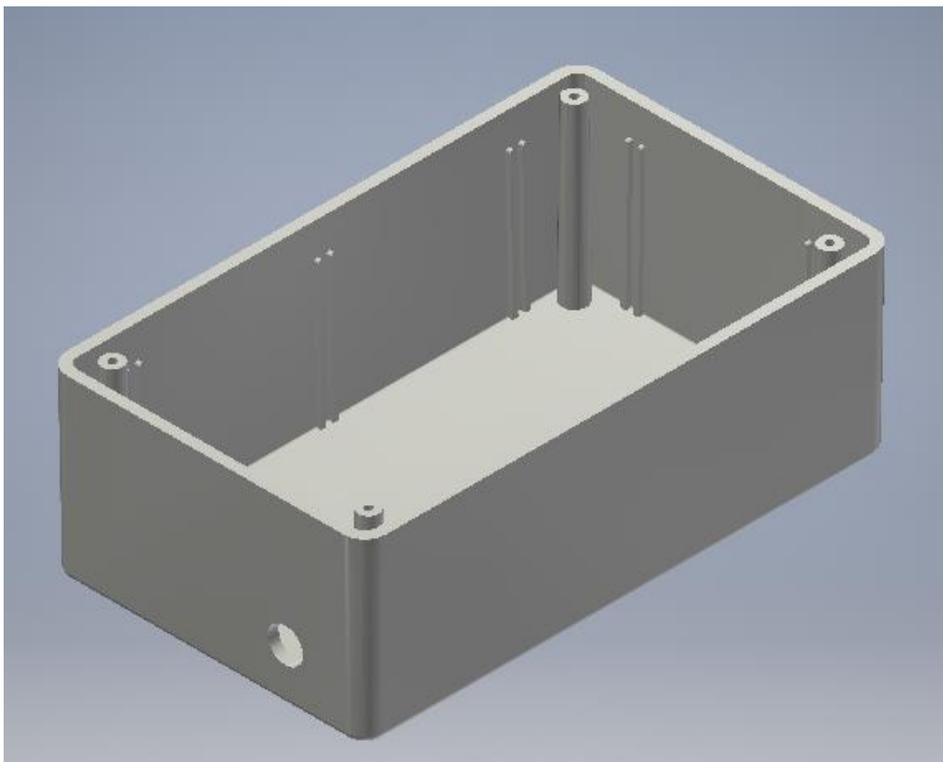


Figura 3.27. Vista interna de caja N° 1 y caja N° 2.

Adicionalmente, considerando que la Hostería se encuentra en una zona costera, y muy cerca del mar, se seleccionó un aerosol de protección contra la salinidad, para evitar el deterioro y corrosión de los dispositivos.

El aerosol seleccionado es ElctriCorr VpCl .239 (267.75 gr.), el cual es un protector en contra de la corrosión, de fácil uso, y que permite agregar una fina capa protectora, sin alterar las resistencia o propiedades de los materiales, asegurando una protección de todos los dispositivos eléctricos o electrónicos, en contra de la corrosión. Tiene una duración de hasta dos años y también puede ser utilizado como un agente limpiador.



Figura 3.28. Spray protector. [33]

3.10 Análisis de costos

El siguiente análisis se realizó considerando solo una de las áreas verdes que cuenta la hostería, sin embargo, cabe recalcar que algunos de los rubros considerados como son el 2, 3, 6 y 8, se utilizan en general para toda la hostería, por lo cual su adquisición será única.

La mayoría de los dispositivos utilizados, no se encuentran actualmente en el mercado ecuatoriano, por lo cual el valor adicional considerado por el costo de importación de estos productos es del 20 %, dado que son dispositivos pequeños y livianos.

Tabla 3.8. Costos.

No. de rubro	Descripción del elemento	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Costo de elementos importados					
Sistema electrónico					
1	Sensor de humedad	Unidad	2	\$38.15	\$76.30
2	Sensor de temperatura	Unidad	1	\$40.68	\$40.68
3	Sensor ultrasónico	Unidad	1	\$20.40	\$20.40
4	Electroválvula	Unidad	1	\$33.60	\$33.60
5	Módulo Relé	Unidad	1	\$18.00	\$18.00
6	Raspberry Pi 3B	Unidad	2	\$72.00	\$144.00
7	Cables	Metro	5	\$1.00	\$5.00
8	Aerosol de protección	gr	1	\$45.00	\$45.00
9	Cajas de protección	Unidad	3	\$15.00	\$45.00
				Subtotal	\$427.98
Sistema mecánico					
10	Tuberías	Metro	169	\$1.50	\$253.50
11	Accesorios (codos, T, Y)	Unidad	76	\$0.25	\$19.00
12	Mano de obra	día	2	\$30.00	\$60.00
				Subtotal	\$332.50
Talento humano					
13	Honorarios		2	\$300.00	\$600.00
				Subtotal	\$600.00
				Total	\$1,360.48

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Mediante la utilización de los sensores IoT se puede conocer en tiempo real la humedad del suelo y temperatura del ambiente en las áreas verdes, lo cual permite determinar el momento y tiempo adecuado para realizar el riego, logrando un ahorro de agua del 22% en comparación con un sistema tradicional de riego.
- Al medir el caudal y el tiempo que permanece encendido el sistema, se puede determinar el consumo de agua en cada riego, lo que permite llevar un control y registro estadístico del consumo de agua diario, mensual e incluso anual.
- Mediante el uso de un sensor ultrasónico, se puede medir el nivel de agua en la cisterna, lo que permite que el cliente tenga un mayor control del agua disponible en su sistema.
- Con la ayuda de una base de datos con 33479 imágenes de hojas de plantas se logró entrenar un modelo para la detección de enfermedades en 10 diferentes tipos de plantas, logrando una precisión del 97.4 %.
- A través del desarrollo del aplicativo móvil, se logra brindar un mejor servicio al usuario, permitiéndole monitorizar y llevar un control del estado de su sistema en tiempo real desde cualquier lugar.

4.2 Recomendaciones

- Aumentar el número de sensores que miden la humedad del suelo; permitirá tener una mayor precisión de la condición del suelo.
- Para el entrenamiento del modelo, se recomienda aumentar el tamaño de la base de datos utilizada, lo que permitirá mejorar la precisión del modelo y lograr la detección de enfermedades en un mayor número de especies de plantas.
- Enviar una notificación de alerta al usuario cuando el nivel de la cisterna sea bajo, para evitar el desabastecimiento de la reserva de agua.
- Por motivos de seguridad, se recomienda agregar en la aplicación una opción para controlar de manera manual el accionamiento del sistema.
- Se recomienda realizar mantenimiento al sistema de tuberías por lo menos una vez al año, para asegurar un correcto funcionamiento de éste y evitar daños mayores.
- Para ambientes costeros o marinos, con altos grados de salinidad, se recomienda utilizar un aerosol de protección para los dispositivos electrónicos, con el fin de evitar la corrosión y deterioro de estos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNESCO, “El Crecimiento Insostenible Y La Creciente Demanda Mundial De Agua,” pp. 12, 2015.
- [2] FAO, “Agua y Cultivos,” *Organ. las Nac. Unidas para la Agric. y la Aliment. c*, pp. 2–6, Oct. 2002.
- [3] Senplades, “Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador,” Secretaría técnica para la erradicación de la pobreza, p. 120, Jul. 2014.
- [4] “Google Earth,” (2021, Enero 01). [Online]. Available: <https://www.google.com/intl/es/earth/>. [Accessed: 09-Feb-2021].
- [5] Climate Data, “Clima Montañita: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de Montañita - Climate-Data.org.” [Online]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/santa-elena-province/montanita-180104/>. [Accessed: 01-Feb-2021].
- [6] F. Shaxon and R. Barber, “Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal,” *Boletín Suelos la FAO*, p. 105, 2005.
- [7] P. Steduto, T. C. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes, *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*, vol. 66. 2012.
- [8] P. Demin, “Métodos de riego : fundamentos , usos y adaptaciones,” *Aporte para el Mejor. del manejo los sitemas riego.*, pp. 1–24, May. 2014.
- [9] M. Pound, “Deep Machine Learning provides state-of-the-art performance in image-based plant phenotyping,” *bioRxiv*, no. September, pp. 3-5, May 2016.
- [10] C. Rudin and K. L. Wagstaff, “Machine learning for science and society,” *Mach. Learn.*, vol. 95, no. 1, pp. 1–9, 2014.
- [11] Y. LeCun, K. Kavukcuoglu, and C. Farabet, “Convolutional networks and applications in vision,” *ISCAS 2010 - 2010 IEEE Int. Symp. Circuits Syst. Nano-Bio Circuit Fabr. Syst.*, pp. 253–256, 2010.
- [12] J. Enciso, D. Porter, and X. Péries, “Uso de sensores de humedad en suelo para mejorar el manejo del riego en cultivos de invernadero,” *Mejor. en la Efic. del uso agua y Fertil. en Agric.*, vol. 39, no. 5, pp. 107–132, 2018.
- [13] J. Mayné, “Sensores, acondicionadores y procesadores de señal,” *Silica an Avnet Div. ,* vol. 1, pp. 1–65, 2003.
- [14] D. Alzate, “Control y medida de nivel de líquido con señales de ultrasonido,” vol. 1, p. 132, 2010.

- [15] F. Rubio Royo, *Física Conceptos Basicos*. 3th ed. vol. 2, Cruz de Tenerife: Editorial Interinsular Canaria, S. A., 1988, pp. 245-253.
- [16] P. G. Ferrín, “Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos basado en el Microcontrolador XMC4500,” 2016.
- [17] LUIS DAVID FIGUEROA NACIMBA, “PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [18] “Tubería XFS de goteo subterráneo autocompensante RAIN BIRD.” [Online]. Available: <https://www.turiego.es/tuberia-xfs-de-goteo-subterraneo-autocompensante-rain-bird.html#.YBYNxegzZac>. [Accessed: 30-Jan-2021].
- [19] “Tubería XFS de goteo subterráneo autocompensante RAIN BIRD.” [Online]. Available: <https://www.turiego.es/tuberia-xfs-de-goteo-subterraneo-autocompensante-rain-bird.html#.YBYTEOgzZad>. [Accessed: 30-Jan-2021].
- [20] Senplades *et al.*, “Total Water Use in the United States,” *USGS.gov*, vol. 53, no. October, pp. 1689–1699, 2014.
- [21] B. Puruncajas, Y. Vidal, and C. Tutivén, “Vibration-response-only structural health monitoring for offshore wind turbine jacket foundations via convolutional neural networks,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 12, pp. 1–19, 2020.
- [22] B. G. Alhogbi, “PROCESAMIENTO DE IMAGENES DE FRUTO DE PALMA DE ACEITE MEDIANTE TECNICAS DE MACHINE LEARNING PARA LA CLASIFICACION DE FRUTO Y PREDICION DE LA CALIDAD DE ACEITE DE PALMA,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 21–25, 2017.
- [23] M.-D. A. Lara, “[#13|W:2|Relev:Low|Aprox:Low] - Análisis comparativo de arquitecturas de redes neuronales para la clasificación de imágenes,” 2020.
- [24] MCI electronics, “humedad_suelo.” [Online]. Available: <https://www.mcielectronics.cl/page/homepage>. [Accessed: 03-Nov-2020].
- [25] MCI electronics, “BlueSense TH (Sensor de Temperatura y Humedad BLE) _ MCI Electronics.” Available: <https://www.mcielectronics.cl/page/homepage>. [Accessed: 03-Nov-2020].
- [26] Amazon.com, “CQRobotOcean.” [Online]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/CQRSENYW002/dp/B07ZMGW3QJ>. [Accessed: 03-Nov-2020].
- [27] Naylamp Mechatronics, “Válvula solenoide 1_2_ 12VDC”, Perú. Available: <https://www.naylampmechatronics.com/valvulas/314-valvula-solenoide-1p2-pulg->

12vdc.html?search_query=Ver+mas+grande++Los+clientes+que+compraron+este+producto+tambien+han+comprado%3A+Valvula+solenoid+1%2F2%22+12V+Valvula+solenoid+1%2F2%22+12V+Valvula+solenoid+1%2F2%22+12V+Valvula+solenoid+1%2F2%22+12VDC&results=609. [Accessed: 05-Dec-2020].

- [28] "Amazon.com: 3/4" NPT DC12V latón normalmente cerrado electroválvula eléctrica aire aceite de agua, junta VITON: Industrial & Scientific." [Online]. Available:
https://www.amazon.com/dp/B087T5WVFK/ref=sspa_dk_hqp_detail_aax_0?spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEzMVITZQ0T0hGNUk4JmVuY3J5cHRIZEIkPUEwMzQwMDk0MjVYNE01VTg1MzZYTSZlbnNyeXB0ZWRBZEIkPUEwNTQ3MDgzMlo5Q1c5MVJUQkUzUyZ3aWRnZXROYW1IPXNwX2hxcF9zaGFyZWQmYWVW0aW9uPWNSaWNrUmVkaXJlY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVI&th=1. [Accessed: 01-Jan-2021].
- [29] "DSD TECH Módulo de relé Bluetooth 4." [Online]. Available:
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Sensores+Acondicionadores+y+Procesadores+de+se?al#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Sensores,+acondicionadores+y+procesadores+de+se?al%230>.
- [30] V. Suárez García, "Introducción a Raspberry Pi," p. 19, Oct. 2015. Available:
<https://hacklabalmeria.net/recursos/2015-10-13/intropi.pdf>.
- [31] Raspberry Pi, "Amazon-Raspberry." [Online]. Available:
[https://www.amazon.com/-/es/4328498196-Frambuesa-Pi-Modelo Junta /dp/B01LPLPBS8](https://www.amazon.com/-/es/4328498196-Frambuesa-Pi-Modelo-Junta /dp/B01LPLPBS8). [Accessed: 01-Jan-2021].
- [32] D. S. Morocho Rocha, "*Desarrollo de una aplicación móvil multiplataforma con Geolocalización para localizar sitios y establecimientos cercanos*," Tesis de pregrado, FICFM, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador 2018.
- [33] Cortec , "*Protector limpiador Multi-Metal*", ElectriCorrp, 02, 2013. Available:
https://www.cortecvci.com/Publications/PDS/ElectriCorr_239.pdf. [Accessed: 31-Dec-2020].

APÉNDICES

APÉNDICE A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISPOSITIVOS SELECCIONADOS

Sensor Specifications

- Type: Photoelectric Level Switch
- Power Supply Voltage: DC 5V
- Output Current: 12 (mA)
- Working Temperature: -25 Degree Celsius to +105 Degree Celsius
- Low Level Output: Less Than 0.1V
- High Level Output: 3.3V or 5V (Dial Switch Control)
- Liquid Level Detection Accuracy: Plus/Minus 0.5mm
- Material: PC
- Measuring Range: NO Limit
- Life: 50,000 Hours
- Scope of Application: Water Level Control and Protection of Electrical Products
- Probe Line Length: 50cm
- Dimension: 35mm * 36mm
- Mounting hole size: 3.0mm



Ocean interface Cable Specifications

- Cable Specifications: 22AWG
- Material: Silicone
- Length: 21cm
- Withstand Voltage: Less Than 50V
- Withstand Current: Less Than 1000MA
- Line Sequence: Black-Negative Power Supply, Red-Positive Power Supply, Green-Signal.

DISTRIBUTION LIST

- 1 * Liquid Level Sensor Probe
- 1 * Liquid Level Sensor Adapter
- 1 * Ocean interface JST 3-Pin Cable

Figura A.1. Datasheet del sensor ultrasónico. [26]

BLUE SENSE



Los Blue Sense T&H son sensores inalámbricos de bajo consumo con tecnología **Bluetooth 4.1 (BLE)**, los cuales transmiten información sobre las variables que **están midiendo cada 5 minutos**. Soporta una topología de red de tipo estrella con **múltiples nodos a la vez**, permitiendo así tener una cantidad virtualmente ilimitada de nodos transmitiendo a un solo concentrador.



Temperatura
Ambiente



Humedad
Ambiente



Nivel de
Batería

Estos dispositivos tienen una autonomía aproximada de más de dos años con una sola pila.

Es compatible con la Raspberry Pi 3 y también se puede integrar a Arduino y otras plataformas de desarrollo mediante dispositivos de recepción compatibles como el BLEBase.



Características generales

- Bluetooth 4.1 certificado (Low energy)
- Alcance de hasta 100 mt. (Línea vista)
- Duración de batería +2 años
- Período de transmisión de 5 min.
- Múltiples nodos (Configuración estrella)
- Pequeño y fácil de instalar
- Caja resistente hecha de ABS
- Temperatura de operación entre -30°C - 65°C

Conectividad

- Tipo: Bluetooth 4.1 Smart (BLE)
- Frecuencia: 2.4GHz
- Sensibilidad: -92.5 dBm at 0.1% BER
- Potencia de transmisión: +7.5 dB

Certificaciones

- FCC
- IC
- CE
- QDIO
- VCCI
- KCC
- NCC

Blue Sense T&H: Sensor de temperatura y humedad

- Variables soportadas: Temperatura, Humedad y voltaje de batería
- Precisión de humedad relativa $\pm 2\%$ (típica)
- Rango de medición de humedad entre -20°C y 70°C
- Precisión de la temperatura ± 0.2 °C (típico)
- Rango de medición de temperatura entre -40°C y 125°C
- Dimensiones 35.0 x 51.3 mm



Figura A.2. Datasheet del sensor de temperatura. [25]

Specifications

Processor:	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memory:	1GB LPDDR2 SDRAM
Connectivity:	<ul style="list-style-type: none">■ 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11 b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE■ Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps)■ 4 × USB 2.0 ports
Access:	Extended 40-pin GPIO header
Video & sound:	<ul style="list-style-type: none">■ 1 × full size HDMI■ MIPI DSI display port■ MIPI CSI camera port■ 4 pole stereo output and composite video port
Multimedia:	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
SD card support:	Micro SD format for loading operating system and data storage
Input power:	<ul style="list-style-type: none">■ 5V/2.5A DC via micro USB connector■ 5V DC via GPIO header■ Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)
Environment:	Operating temperature, 0–50°C
Compliance:	For a full list of local and regional product approvals, please visit www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b+
Production lifetime:	The Raspberry Pi 3 Model B+ will remain in production until at least January 2023.

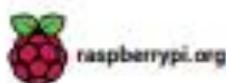


Figura A.3. Datasheet Raspberry Pi 3. [30]

APÉNDICE B
AUTORIZACIÓN HOSTERÍA “ARMONIA LODGE”



ARMONÍA LODGE

Fecha 01/02/2021

AUTORIZACIÓN

Yo, **SALOMON EDUARDO ROSERO DELGADO**, con cédula de ciudadanía # 0918442435, representante legal de Hostería Armonia Lodge, autorizo usar el nombre de nuestra organización para el tema del proyecto integrador "Diseño de un sistema inteligente para el riego automatizado y la detección de enfermedades en áreas verdes de la Hostería Armonía Lodge", realizado por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), perteneciente a los/las estudiantes **María del Cisne Feijoo Jaramillo** con número de cédula de ciudadanía 0706162112 y **Yovana Paola Zambrano Ruiz** con número de cédula de ciudadanía 0706897675.

Firma

SALOMON EDUARDO ROSERO DELGADO

Cédula de Ciudadanía #:0918442435

Teléfono: 0992331653

SALOMÓN ROSERO
Gerente de Ventas

booking@armonialodge.com
(+593) 992331653

VÍA A OLON ATRÁS DEL MONUMENTO SURFISTA
COLINAS DE MONTAÍTA, SANTA ELENA

ARMONIALODGE.COM

APÉNDICE C
PLANO DE LA HOSTERÍA

527.100

527.200

527.300

527.400

9799.000

Área = 1.245,44 m²

Área = 3.800,00 m²

Área Parte Oeste 1 = 2.750,68 m²

Área Parte Este 1 = 2.018,75 m²

9798.900

Área Parte Oeste 2 = 12.662,98 m²

Área Parte Este 2 = 38

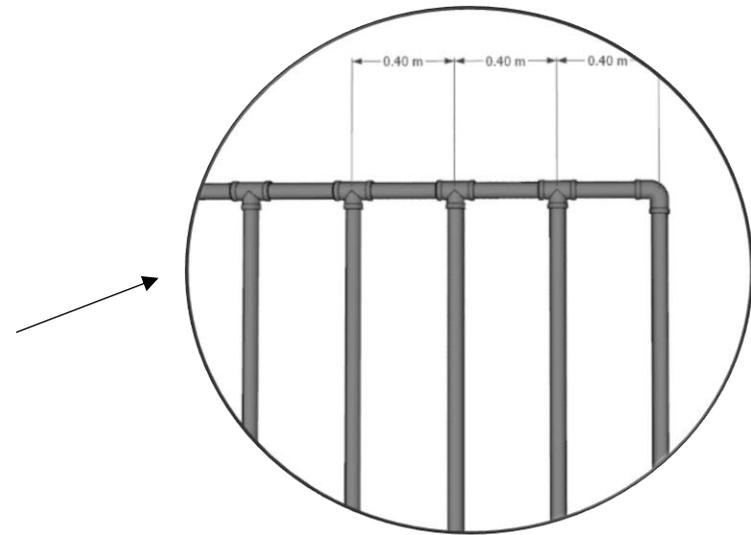
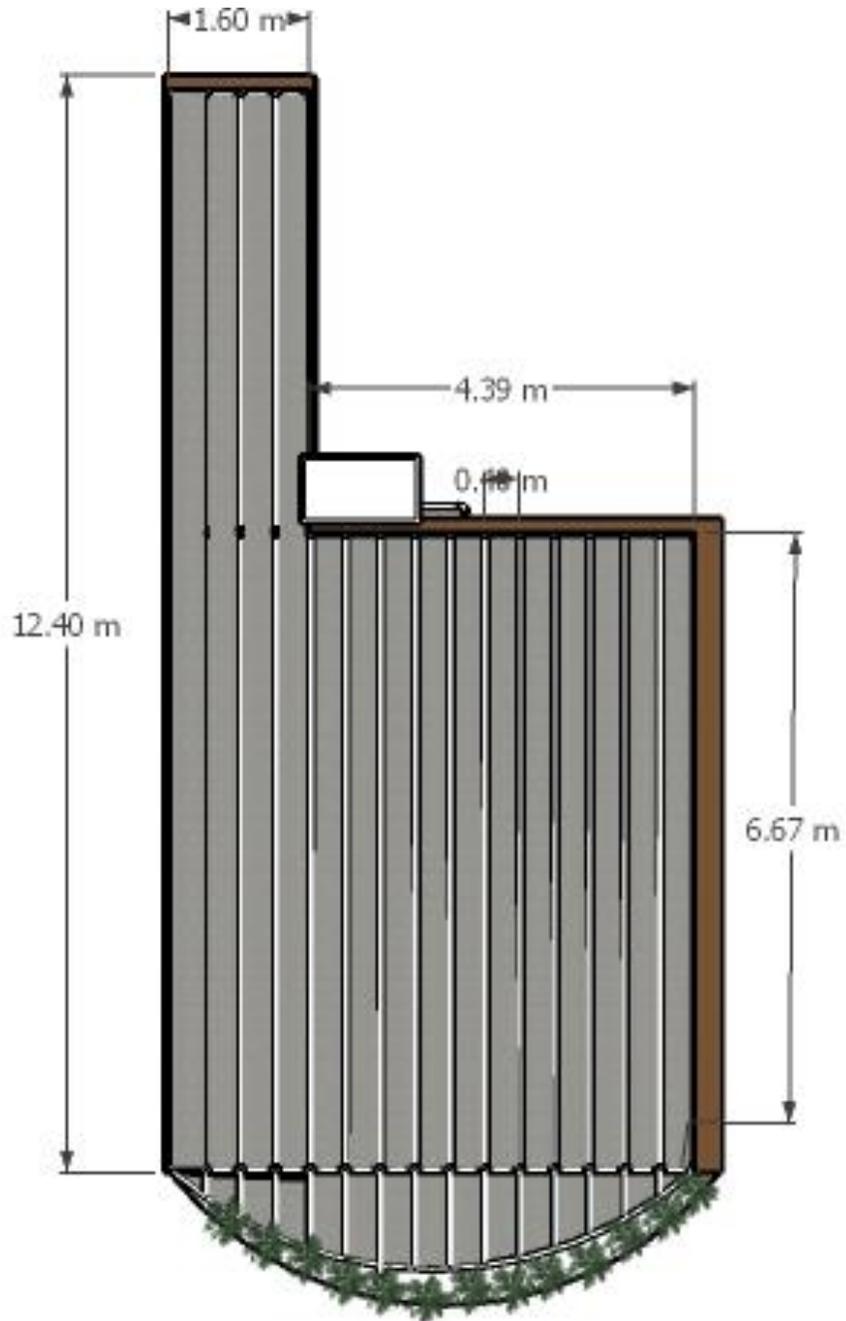
9798.800



Diseño de M. Feijoo - Y. Zambrano	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 2/8/2021
Escuela Superior Politécnica del Litoral			Armonía Lodge	
metros			Edición	Hoja 1 / 1

APÉNDICE D

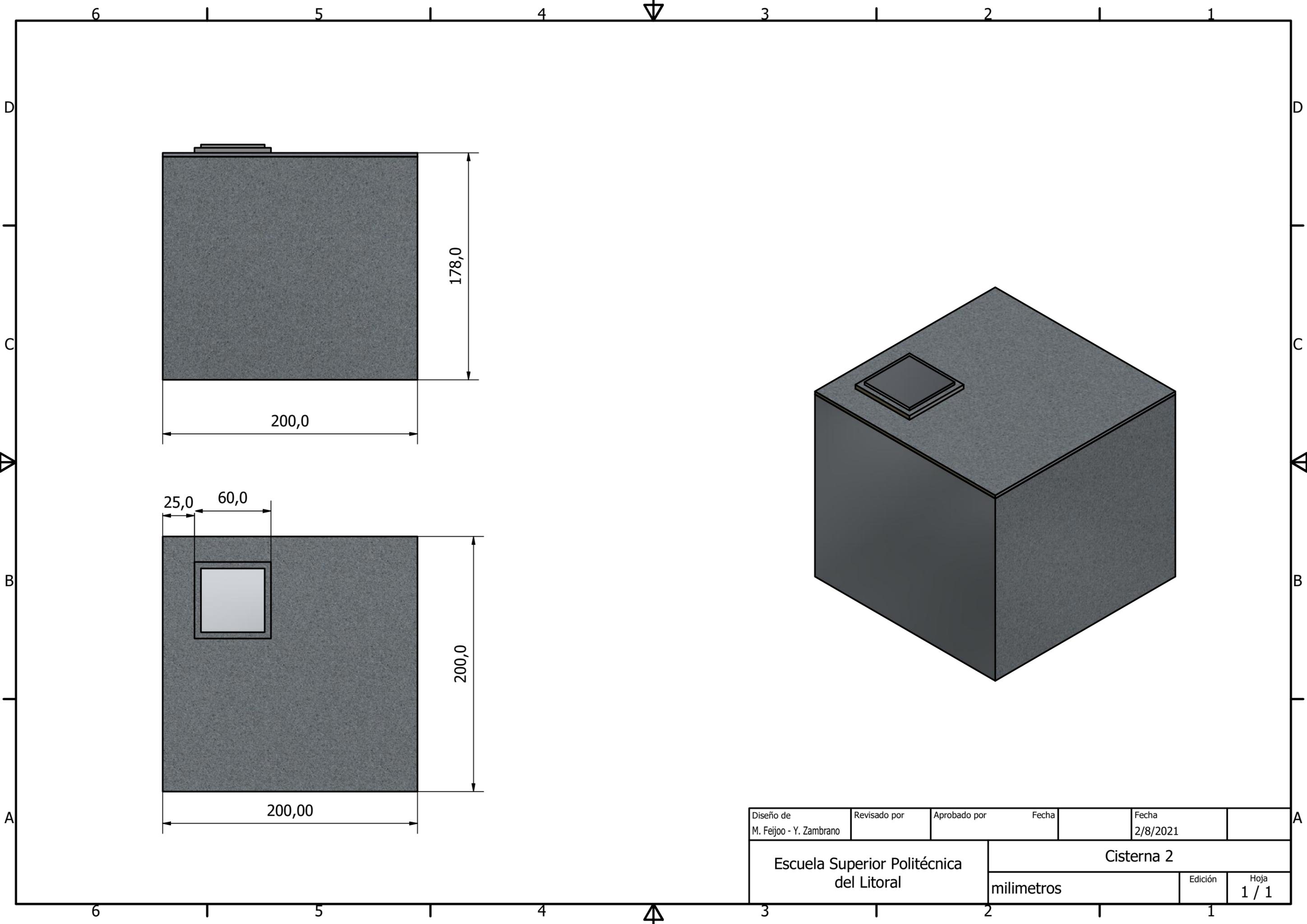
PLANO UBICACIÓN DE LAS TUBERÍAS



Diseño de M. Feijoo - Y. Zambrano	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 2/8/2021	
Escuela Superior Politécnica del Litoral			Plano ubicación de tuberías		
			milímetros		Edición Hoja 1 / 1

APÉNDICE E

PLANOS GENERALES



6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

D D

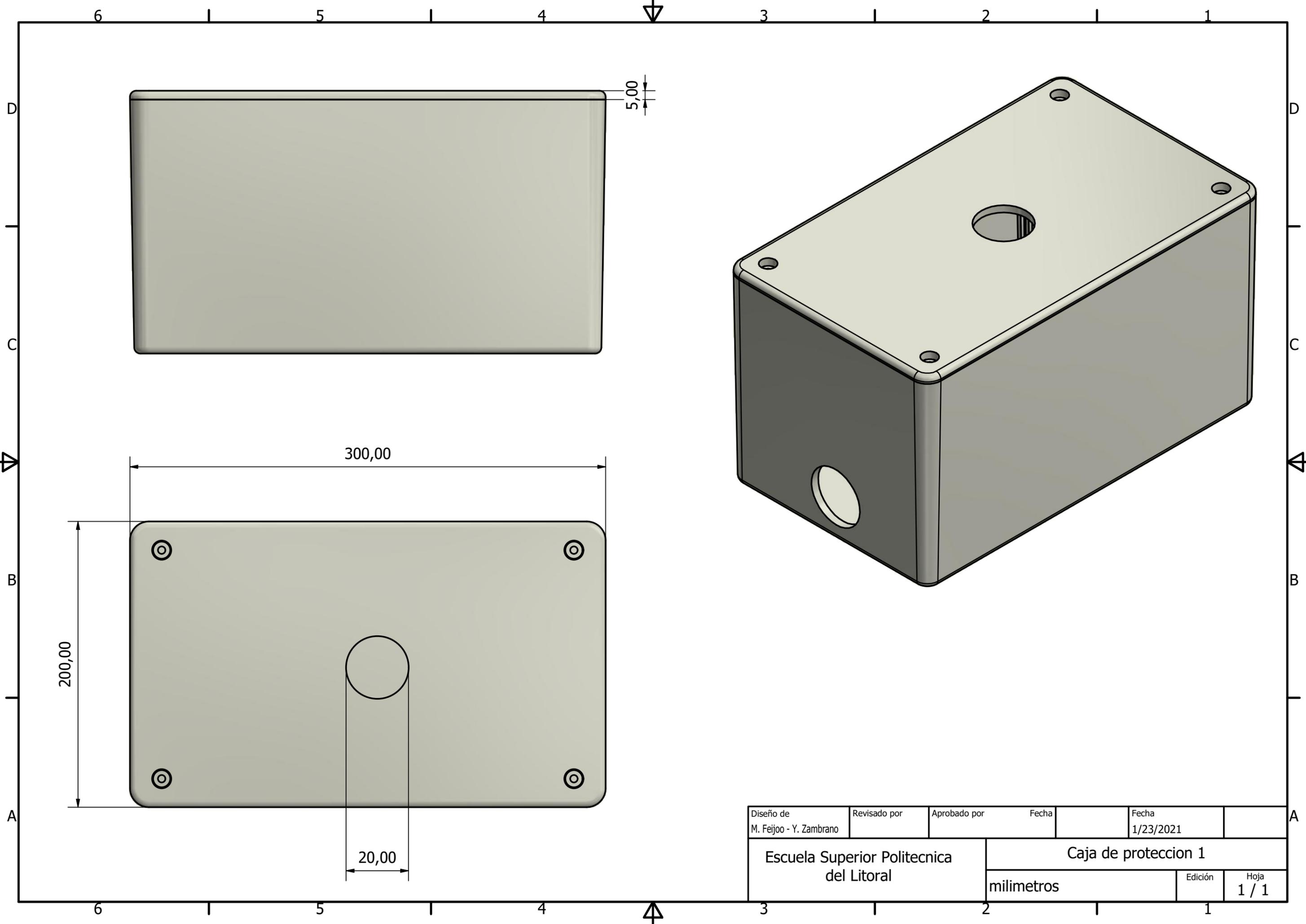
C C

B B

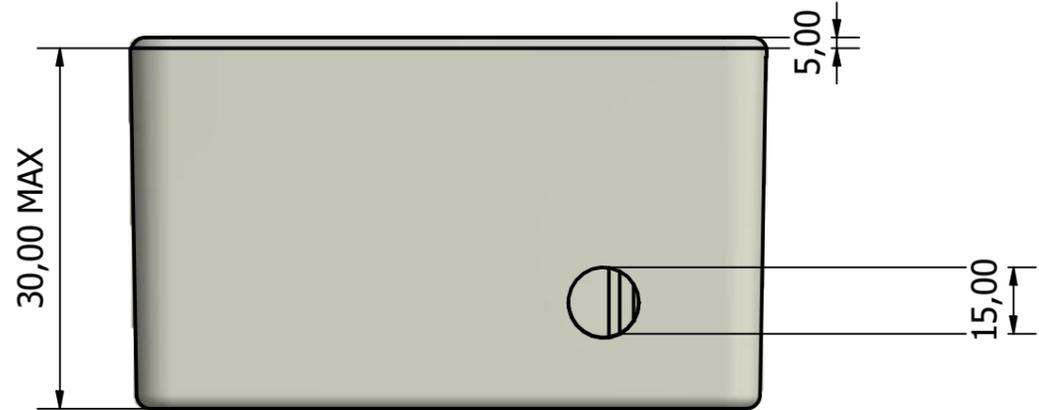
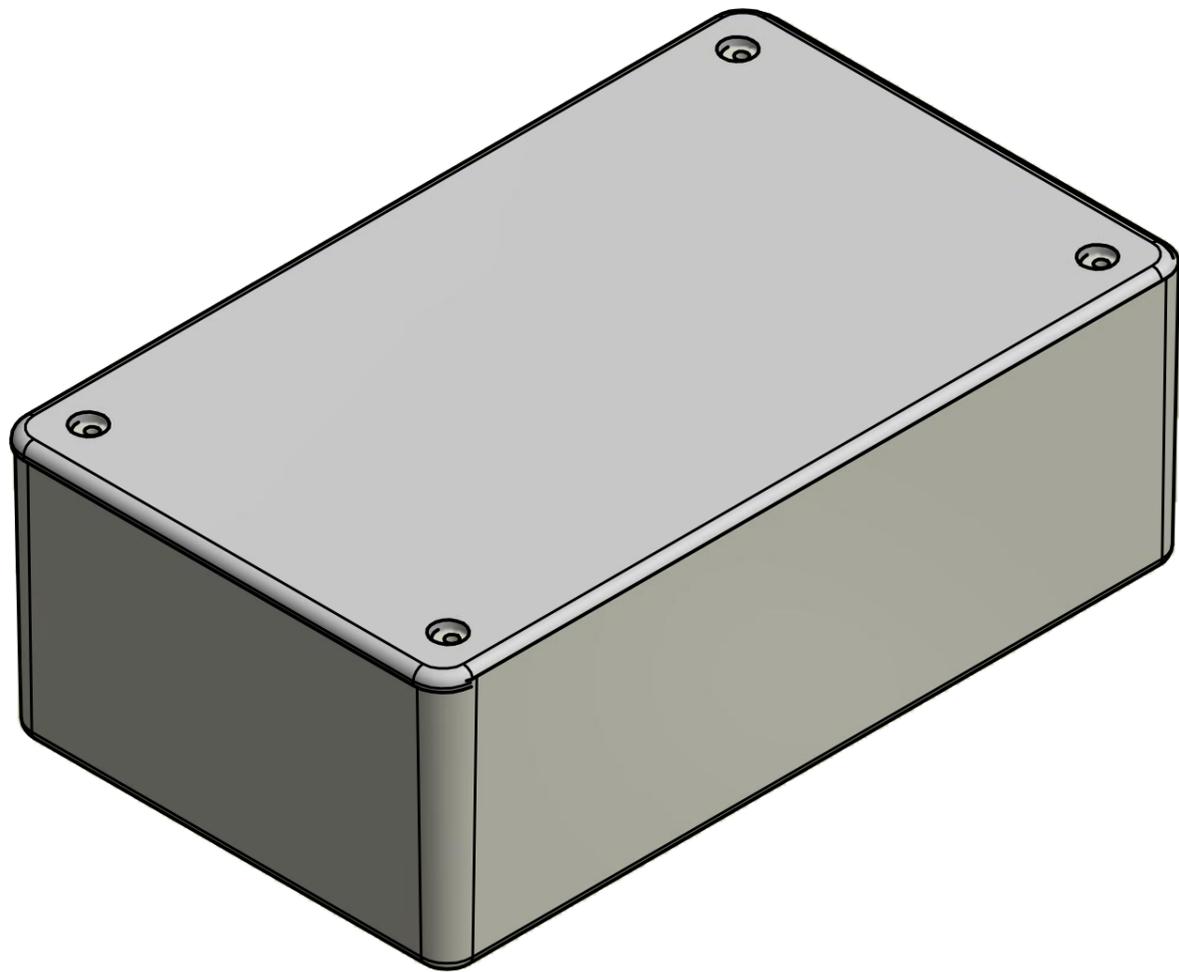
A A

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

Diseño de M. Fejoo - Y. Zambrano	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 2/8/2021
Escuela Superior Politécnica del Litoral		Cisterna 2		
		milímetros		Edición 1 / 1



Diseño de M. Feijoo - Y. Zambrano	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 1/23/2021
Escuela Superior Politecnica del Litoral		Caja de proteccion 1		
milímetros			Edición	Hoja 1 / 1



Diseño de M. Feijoo - Y. Zambrano	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 1/23/2021
Escuela Superior Politecnica del Litoral		Caja de protección 2		
		milímetros		Edición Hoja 2 / 3