

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Huertos Inteligentes en Espacios Reducidos para Autoconsumo

Tesis

Que para obtener el grado de
Maestra en Ingeniería

Presenta:

Leticia Sarahi Espinoza Barraza

Director de tesis:

Dr. Mauricio Alonso Sánchez Herrera

Universidad Autónoma de Baja California
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

Folio No.344
Tijuana, B.C., a 02 de mayo, 2023

C. Leticia Sarahi Espinoza Barraza
Pasante de: Maestría en Ingeniería
Presente

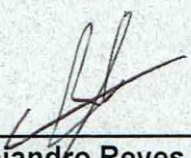
El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
Opción TESIS


Es propuesto, por el C. Dr. Mauricio Alonso Sánchez Herrera
Quien será el responsable de la calidad del trabajo que usted presente, referido al
tema "Huertos Inteligentes en Espacios Reducidos Para Autoconsumo".

El cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I. INTRODUCCIÓN
- II. MARCO TEORICO
- III. HUERTOS INTELIGENTES
- IV. EXPERIMENTACION
- V. RESULTADOS
- VI. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO
- VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO


Dra. Ana Alejandra Ramirez Rodriguez
Sub-Directora


M.C. Roberto Alejandro Reyes Martinez
Director


Dr. Mauricio Alonso Sánchez Herrera
Director de Tesis

Resumen

Gracias a la conectividad que nos ofrece el Internet de las Cosas (IoT) con las actividades de la vida cotidiana podemos ahorrar recursos y al mismo tiempo hacer más cómodo un espacio del hogar, por ejemplo, un pequeño huerto de autoconsumo. Las razones para tenerlo son varias, entre ellas está la importancia económica, por gusto o por intercambiar productos con otros miembros de la comunidad, así como por sustentabilidad. La presente tesis muestra una de las problemáticas que surge del crecimiento de la población, esto es, viviendas con poco espacio para cultivo de autoconsumo y a su vez la reducción de tiempo en el mantenimiento de estas áreas. Durante la realización de este proyecto de tesis se diseñó y desarrolló un sistema prototipo con una herramienta que combinó los sistemas embebidos con la Inteligencia Artificial (IA) para el monitoreo y control de un pequeño cultivo para autoconsumo con el fin de brindar una reducción de actividades en el mantenimiento de un huerto y a su vez incentivar a la población que posee un pequeño espacio en su casa a crear un área verde para el cultivo de sus propias hortalizas. La tecnología utilizada, así como los dispositivos inteligentes se encargan de facilitar el cuidado y mantenimiento de estos huertos por lo que no será un problema que no se tenga un grado de conocimiento previo.

Palabras clave: Huerto Inteligente, IoT, IA, Sistemas Embebidos, Sistema Experto, Lógica Difusa.


Abstract

Thanks to the connectivity offered by the Internet of Things (IoT) with the activities of daily life, we can save resources and at the same time make a space in the home more comfortable, for example, a small vegetable garden for self-consumption. The reasons for having it are several, among them are the economic importance, for pleasure or for exchanging products with other members of the community, as well as for sustainability. The present thesis shows one of the problems that arises from population growth, that is, houses with little space for self-consumption cultivation and at the same time the reduction of time in the maintenance of these areas. During the realization of this thesis project, a prototype system was designed and developed with a tool that combined embedded systems with Artificial Intelligence (AI) for monitoring and control of a small crop for self-consumption in order to provide a reduction of activities in the maintenance of a garden and in turn encourage the population that has a small space in their home to create a green area for growing their own vegetables. The technology used, as well as intelligent devices are responsible for facilitating the care and maintenance of these gardens so it will not be a problem that does not have a degree of prior knowledge.

Key words: Smart Garden, IoT, AI, Embedded System, Expert System, Fuzzy Logic.

Dedicatoria

La presente tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mi familia que gracias a su apoyo, paciencia y palabras de ánimo logré una meta más en mi vida, que me ayudo a crecer como persona y como profesionalista.

A la memoria de mi padre Martin Espinoza Hernández , quien ya no pudo verme culminar esta etapa pero que siempre estuvo conmigo brindándome su enseñanza, ayuda, apoyo, consejos y los recursos necesarios.

A mi Madre Marypaz Barraza que siempre ha estado para apoyarme, animarme y aconsejarme con amor y paciencia haciéndome crecer con sus enseñanzas.

A mis hermanos Yadira, Carlos, Nalani y Dyllan Espinoza Barraza y mis sobrinos Yadier y Ariel Picos Espinoza con mucho cariño a ellos que siempre están ahí apoyando con paciencia y dándome consejos y palabras de ánimo.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Dr. Mauricio Alonso Sánchez Herrera por ser parte fundamental de la culminación de este proyecto, por haberme brindado sus conocimientos, por su guía, apoyo y correcciones.

Al Dr. Leocundo Aguilar Noriega por ser parte de mi guía, apoyarme y aconsejarme en este proyecto.

A la M.C. Itzel Barriba Cázares por sus opiniones y correcciones y a la Dra. Thelma Violeta Ocegueda Miramontes por el apoyo brindado en este proyecto.

Agradezco a mis padres por apoyarme y ser un ejemplo de perseverancia y superación en la vida, gracias a ellos por confiar siempre en mí.

Agradezco a mis hermanos por su apoyo y tolerancia.

A mi amigo Alexis Chávez por su apoyo, paciencia y compañía.

A mis amigos Paola Cortes, Iván Ramírez, Vicente Cerezo, Jesús Francisco Cárdenas y Jorge Zules por su apoyo, compañía y cariño en este trayecto.

A mis amigos Alejandro Islas y David Gutiérrez por darme su apoyo y ánimos para avanzar en mi tesis.

A mis compañeros que ahora ya los considero amigos Ramsses Palafox, José Rocha y Ricardo Castro porque fueron un gran apoyo durante este camino y estuvieron dándome ánimos.

A la vida por permitirme seguir mis metas y permitirme seguir aprendiendo y experimentado.

A cada una de las personas que colaboraron con un granito de arena para que este proyecto se haga realidad, mi eterno agradecimiento por su incondicional apoyo y ayuda.

Índice

Resumen	I
Abstract	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos.....	IV
Organización de la tesis.....	11
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2 Justificación del problema.....	14
1.3 Hipótesis.....	14
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.5 Metas	15
1.6 Metodología	16
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes	19
2.1.1 Aplicaciones inteligentes basadas en IoT	19
2.1.2 Huertos familiares para consumo propio	19
2.1.3 Hortalizas para plantar en un huerto de autoconsumo.....	19
2.1.4 Huertos.....	20
2.1.5 Huertos inteligentes	20
2.1.6 Clasificación de los Huertos	20
2.1.6.1. Huertos en la tierra.....	21
2.1.6.2. Huertos verticales.....	21
2.1.6.3. Huertos hidropónicos	21

2.1.7	Ciclo de vida de plantas en un huerto	22
2.2	Parámetros significativos para el desarrollo de un cultivo	23
2.3	Aplicaciones para un huerto inteligente	23
2.4	Internet de las cosas	24
2.4.1	IoT en la agricultura.....	24
2.5	Domótica.....	25
2.5.1	Viviendas inteligentes.....	25
2.6	Automatización	26
2.7	Sistema embebido	27
2.7.1	Los sistemas embebidos en aplicaciones domóticas.....	27
2.8	Microcontroladores	28
2.8.1	Características de los microcontroladores	29
2.9	Modulo ESP32	29
2.9.1	NodeMCU ESP8266.....	30
2.9.2	ESP32 sensor de temperatura y humedad.....	32
2.9.3	Sensor de temperatura y humedad	32
2.9.4	Sensor luminosidad.....	33
2.9.5	Sensor de humedad del suelo.....	33
2.9.6	Aplicación de Sensores	34
2.9.7	Raspberry PI	34
2.10	Inteligencia artificial.....	35
2.10.1	Sistemas Híbridos Inteligentes.....	36
2.10.1.1.	Sistemas Expertos	36
2.10.1.2.	Sistema difuso	37
2.10.2	Conjuntos difusos tipo-1	38
CAPÍTULO 3 HUERTOS INTELIGENTES.....		41
3.1	Prototipo.....	42

3.2	Fase Huerto	43
3.2.1	Recolección de información	43
3.2.1	Selección de hortalizas y diseño de huerto	44
3.3	Fase sistema embebido.....	45
3.3.1	Módulo de monitoreo.....	45
3.3.2	Módulo de control.....	49
3.4	Fase sistema experto	51
3.4.1	Reglas difusas para el comportamiento del huerto	52
3.4.2	Sistema de Inferencia Difusa (FIS).....	53
3.4.1	Variables de Entrada.....	53
3.4.1	Respuesta	56
3.5	Evaluación del sistema difuso.....	56
3.6	Notificación de mensajes	58
CAPÍTULO 4 EXPERIMENTACIÓN		61
CAPÍTULO 5 RESULTADOS.....		68
CAPÍTULO 6 PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO		75
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO		77
7.1	Trabajo futuro.....	79
Referencias		80
Apéndice.....		86
Anexo		94

Índice de Figuras

Figura 1. Representación de un huerto vertical.....	21
Figura 2. Representación de un sistema hidropónico.....	22
Figura 3. Esquema de interfase de la tarjeta.....	30
Figura 4. Placa de desarrollo ESP-12E con pinout..	31
Figura 5. Diagrama de Chip ESP 8266	31
Figura 6. Sensor de luminosidad.....	33
Figura 7. Estructura con Pinout de RASPBERRY PI	35
Figura 8. Sistemas híbridos inteligentes.....	36
Figura 9. Diagrama de la estructura de un sistema experto.....	37
Figura 10. Diagrama de sistema experto difuso.....	38
Figura 11. Ejemplo de un T1 FS genérico en la forma de una función de pertenencia gaussiana.....	39
Figura 12. Diagrama de bloques describiendo los componentes principales de un FLS T1.....	39
Figura 13. Estructura general del prototipado.....	42
Figura 14. Fases del prototipo	42
Figura 15. Gráfica de las hortalizas que más se consumen en un hogar	43
Figura 16. Grafica de las hortalizas que cultivarían en caso de poder hacerlo en su hogar	44
Figura 17. Horizontes de suelo	44
Figura 18. Divisor de voltaje.....	46
Figura 19. Diagrama de bloque de la conexión del envío de datos.....	46
Figura 20. Conexión de modulo ESP8266 con integración de sensores a la nube.....	47
Figura 21. Conexión de Modulo ESP32 con integración de sensores a la nube	47
Figura 22. Funcionamiento de riego.....	50
Figura 23 Representación del sistema de riego.....	50
Figura 24 Representación de sistema experto.....	51
Figura 25 Modelo de inferencia difuso	51
Figura 26. Función de membresía temperatura	53
Figura 27. Función de membresía Humedad.....	54
Figura 28. Variable de salida "Regar"	54

Figura 29. Variable de salida “Mover”	55
Figura 30. Reglas.....	56
Figura 31. Evaluación de sistema difuso.....	57
Figura 32. Diagrama de prototipo agregando el sistema experto.....	58
Figura 33. Control de envío de notificaciones	59
Figura 34. Diagrama de prototipo final.	60
Figura 35. Primer prototipo.	63
Figura 36. Integración de segundo prototipo.....	64
Figura 37. Gabinete de prototipo.....	64
Figura 38. Diseño 3D de gabinete para la placa ESP32 stick.	64
Figura 39. Sistema de riego.....	65
Figura 40. Sistema de riego para 3 hortalizas	66
Figura 41. Colocación estratégica de componentes	67
Figura 42. Registro de temperatura	69
Figura 43. Registro de humedad.....	70
Figura 44. Registro de luminosidad	70
Figura 45. Proceso de crecimiento del cultivo de la hortaliza, tomate.....	71
Figura 46. Prueba de prototipo en la hortaliza tomate.	71
Figura 47. Implementación del prototipo del sistema de monitoreo, control y riego.....	72
Figura 48. Notificación cuando la temperatura es muy alta.....	72
Figura 49. Notificación cuando la temperatura es muy bajas.	73
Figura 50. Notificación cuando la planta se ha expuesto más de 8 horas a la luz solar.	73
Figura 51. Menú de opciones para mostrar parámetros de plantas de forma manual.	74
Figura 52. Respuestas a las peticiones por grupo de parámetros e individuales.	74

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipos de hortalizas de acuerdo con su órgano comestible .	20
Tabla 2 Ciclo de vida de las hortalizas para cultivo.	22
Tabla 3. Datos y especificaciones del sensor	32
Tabla 4. Muestra de recolección de datos de los sensores hacia la base de datos	48
Tabla 5. Características de las hortalizas.	65
Tabla 6 Costos del presupuesto del prototipo	76

Organización de la tesis

Capítulo 1. Este primer capítulo nos presenta la introducción contemplando la problemática en la que está basado este proyecto de tesis, exponiendo una hipótesis.

Capítulo 2. Dentro de este capítulo se encuentra el marco teórico, y los trabajos relacionados a dicha tesis, además, los antecedentes de esta investigación.

Capítulo 3. Este capítulo comprende el desarrollo del proyecto realizado en donde se explica la implementación del prototipo.

Capítulo 4. En el capítulo de experimentación se aplicó la herramienta realizada, el sistema de monitoreo y riego.

Capítulo 5. Este capítulo comprende los resultados por parte del desarrollo y la experimentación del prototipo, en donde se utilizó la herramienta.

Capítulo 6. Este capítulo trata del presupuesto y financiamiento efectuados sobre la creación del sistema de monitoreo y control.

Capítulo 8. Conclusiones y trabajos a futuro trata sobre si se aprueba o rechaza la hipótesis y si se contó satisfacción en el producto final.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la tecnología avanza a pasos agigantados, podemos ver aplicaciones con IoT que son capaces de optimizar e incluso minimizar el tiempo y esfuerzo en la industria, el transporte y hasta el hogar, como, por ejemplo, con la domótica. El ser humano está en constante desarrollo y adaptación de las nuevas tecnologías para aumentar la seguridad en su vivienda y hacer de esta un lugar confortable. Hoy en día otros objetivos importantes es mantener un ahorro energético, mejora de la salud e higiene y la protección del medio ambiente [1], con base en esta información se propuso el diseño, desarrollo e implementación de una herramienta para el monitoreo y control de un huerto inteligente para autoconsumo.

1.1 Planteamiento del problema

La población en México creció 13.7 millones del 2010 respecto al 2020 esto significa una tasa del 1.2% de crecimiento promedio anual[2], [3] y que para 2020 éramos 126,014,024 habitantes. Esta rapidez de crecimiento demanda la construcción de más viviendas por lo que las casas de interés social con espacios mínimos y departamentos se han vuelto la mejor opción para habitar[4]. Particularmente en Baja California en el 2020, la población ascendió a 3 769 020 habitantes y se registró la cantidad de 1,148,913 viviendas particulares habitadas con un promedio de 3.3 ocupantes por vivienda que va decreciendo, [5]. Partiendo de los factores de crecimiento de la población, aumento de viviendas, el decremento de habitantes que ocupan una vivienda y además el que las viviendas que más se están construyendo son las de interés social [6] se puede inferir que al paso de los años son menos los habitantes que ocuparán una vivienda por lo que el espacio destinado para áreas de cultivo de autoconsumo en casa o departamento se vean limitadas o nulas. A esto le agregamos que el tiempo que se dispone hoy en día para dar mantenimiento a un área de cultivo es poca y en algunos casos es mínimo el conocimiento sobre esta área.

El tener un huerto en casa trae consigo muchos beneficios alguno de ellos son la seguridad de que el alimento se cosecho con calidad y no llevará algún plaguicida o herbicida que afecte la salud, otros son mejora de los hábitos nutricionales, incremento de la actividad física, fomento del bienestar psicológico, disminución del estrés, así como la mejora de la percepción de la salud [7][8].

Uno de los problemas más comunes a los que se enfrentan las personas que les gustaría tener un huerto en su casa es la falta de espacio, lo que se puede compensar realizando huertos verticales, estos nos ayudan a que en poco espacio se pueda adecuar la instalación para el cultivo de algunas hortalizas.

La instalación de un huerto puede fracasar por factores como el costo de la inversión inicial, condiciones de riego, una inadecuada cantidad de luz; añadiendo que el tiempo que se dispone hoy en día para dar mantenimiento a un área de cultivo es poco y en algunos casos es mínimo el conocimiento sobre esta área.

Se puede apreciar que uno de los factores destacables que intervienen en la problemática es el mantenimiento de un huerto, el cuál demanda entrenamiento en el área, así como recursos económicos y tiempo. Otro factor es el aumento de la población ya que ha provocado el encarecimiento de las viviendas, haciendo que estas sean más pequeñas con el paso del tiempo [9].

1.2 Justificación del problema

Un huerto urbano ofrece la posibilidad de cultivar nuestros propios alimentos, obteniendo beneficios como mejora de la economía, alimentos saludables y libres de pesticidas, reducción de estrés y aumento de áreas verdes en la ciudad. Llevar a cabo el monitoreo y control de un huerto urbano localizado en un espacio reducido por medio de un dispositivo inteligente facilita el mantenimiento de este, reduciendo el tiempo invertido y optimizando las tareas para fortalecer la cosecha.

1.3 Hipótesis

Mediante IoT e IA es posible mantener un huerto en un espacio reducido para autoconsumo reduciendo los recursos requeridos en el proceso de cultivo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y desarrollar una plataforma para huertos inteligentes en espacios reducidos con la capacidad de monitorear y controlar en tiempo real parámetros relevantes en el proceso de cultivo mediante el uso de sistemas embebidos y sistemas expertos.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema experto que adapte nuevas reglas del cuidado del huerto.
2. Integrar sensores para optimizar la automatización del cuidado inteligente del huerto.
3. Integrar un sistema de alertas y avisos al usuario sobre su huerto.

1.5 Metas

1. Obtener información de procesos de cultivos y hortalizas.
2. Seleccionar cultivos de pruebas.
3. Selección de la arquitectura y tecnologías.
4. Obtener los parámetros base.
5. Implementación del sistema de sensores.
6. Obtención de los datos en crudo del monitoreo.
7. Análisis y visualización de los datos.
8. Identificar un sistema experto ideal.
9. Implementar el sistema experto seleccionado.
10. Validar el sistema.

1.6 Metodología

La metodología por desarrollar será aplicada en las siguientes etapas descritas a continuación:

Etapa 1

1. Obtención de información sobre el proceso de cultivo de algunas frutas, verduras, hortalizas y los nutrientes que estas necesitan. Estos datos serán obtenidos de la revisión de la bibliografía consultada.
2. Obtención de los parámetros para el desarrollo del sistema embebido de acuerdo con los cultivos y el entorno.
3. Selección y análisis de componentes para el desarrollo de los dispositivos de control.

Etapa 2

4. Diseño y desarrollo de los huertos de tal forma que cumplan con las necesidades de lo que se va a cultivar, restringiéndonos a un área reducida que sea capaz de poder instalarse en lugares con poco espacio.
5. Desarrollo del sistema para visualizar los datos.
6. Desarrollo y pruebas en donde se tomarán de base los datos obtenidos a fin de encontrar los parámetros adecuados para desarrollar un sistema embebido eficiente que cumpla con los requisitos para que se logre el crecimiento de los cultivos en los huertos. En esta misma etapa se realizan las pruebas pertinentes para avanzar con el desarrollo.

Etapa 3

7. Monitoreo de los cultivos, así como el de los dispositivos además se plantean mejoras para la eficiencia del sistema embebido.
8. Analizar y documentar el avance de los datos obtenidos de los huertos, así como el funcionamiento de los sistemas embebidos, se registrará y se revisará que la aplicación esté transmitiendo correctamente los datos de los dispositivos aplicados.

Etapa 4

9. Recolección final de los datos, así como de su análisis final, los datos serán tratados para ser presentados de forma clara.
10. Para finalizar con la metodología de trabajo, se analizarán los datos para dar las conclusiones, buscando responder la hipótesis planteada.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Aplicaciones inteligentes basadas en IoT

En la actualidad existe un sinnúmero de aplicaciones que nos ayudan a mejorar nuestras vidas, las acciones repetitivas ahora pueden automatizarse y controlarse de forma remota con ayuda de la tecnología. El ahorro de tiempo en actividades simples es un tema importante en las industrias y hogares, por lo que el diseño propuesto de una herramienta que nos ayude a automatizar una de las tareas en el hogar, específicamente, el monitoreo y control del riego de un cultivo casero, es de gran apoyo para ahorrar tiempo en su cuidado y al mismo tiempo con un gran beneficio al obtener productos cuidados en el hogar. Entre los trabajos relacionados que fueron un aporte a este proyecto de tesis fue la implantación de un sistema agrícola inteligente basado en un robot equipado con diversos sensores que realiza un recorrido tomando lecturas dentro de un área designada, [10] así como un sistema de invernadero que hace uso del IoT capaz de recopilar datos para luego analizarlos y llegar a una toma de decisiones mucho más efectiva [11]. A esto se agregan sistemas de riego para jardines del hogar [12] que además pueden ser por goteo y/o por uso de apps web o Android [13] y la combinación del mismo sistema de riego agregando fertilización, haciendo uso de la lógica difusa para el cultivo de plantas específicas, en este caso se aplicó para el Chile. [14]

2.1.2 Huertos familiares para consumo propio

Un huerto de autoconsumo es un espacio que puede encontrarse cerca del lugar donde se habita, por lo general es un espacio pequeño, en él se cultivan las hortalizas, verduras, frutas o plantas medicinales que se deseen según sus preferencias y el espacio que posean. [15]

2.1.3 Hortalizas para plantar en un huerto de autoconsumo

En la tabla 1 se muestran las hortalizas que pueden ser cultivadas en un huerto para autoconsumo clasificadas de acuerdo con su órgano comestible [7].

Tabla 1 Tipos de hortalizas de acuerdo con su órgano comestible [7].

Órgano	Hortalizas
Raíz	Betarraga, camote, nabo, pastinaca, rábano, raíz picante, rutabaga, salsifí, zanahoria.
Tubérculo	Papa, topinambur.
Tallo	Colirrábano, espárrago.
Bulbo	Ajo, cebolla, cebollino, chalota.
Hoja	Acelga, achicoria, berro, berro de agua, ciboulette, cilantro, col crespa, chalota, diente de león, endibia, espinaca, hinojo, lechuga, perejil, puerro, radicchio, repollo, repollo chino, repollo de Bruselas.
Pecíolo	Apio, ruibarbo.
Inflorescencia	Alcachofa, brócoli, coliflor.
Fruto inmaduro	Ají, arveja china, chayote, choclo, lufa, okra, pepino, pimiento, poroto verde, poroto pallar, zapallo, italiano.
Fruto maduro	Ají, alcayota, berenjena, melón, pepino dulce, pimiento, sandía, tomate, zapallo.
Semilla inmadura	Arveja, haba, poroto granado, poroto lima, poroto pallar, soya verde.

2.1.4 Huertos

Un huerto es un terreno de corta extensión, generalmente cercado, en el que se cultivan verduras, legumbres y árboles frutales [16].

2.1.5 Huertos inteligentes

Los huertos inteligentes combinan los conocimientos de la agricultura ecológica con la tecnología para hacer que estos sean capaz de medir sus propios parámetros.

2.1.6 Clasificación de los Huertos

Los huertos pueden clasificarse por el tipo de superficie en el que se va a cosechar, el sustrato, el tipo de prácticas empleadas o por el tipo de riego entre otras[17]. De acuerdo con la definición de huerto y el contexto de esta tesis la clasificación se divide en tres: huertos en la tierra, huertos verticales (en contenedores) y huertos hidropónicos.

2.1.6.1. Huertos en la tierra

Este tipo de huerto es cuando se siembra directamente en la tierra, por ejemplo, en un espacio de tierra en el suelo. Ahí se desarrollan y dan sus frutos hasta ser retiradas. El sustrato se obtiene directamente de la tierra, aunque en algunos casos las características del suelo pueden ser mejoradas haciendo uso de nutrientes orgánicos asegurando la sujeción, acceso del oxígeno a las raíces, retención adecuada de humedad y los nutrientes [18].

2.1.6.2. Huertos verticales

Los huertos verticales usan contenedores en las paredes, macetas, jardineras, mesas de cultivo entre otros, generalmente para construir un jardín sobre un sustrato especial. Si se quiere tener éxito en este tipo de huerto se debe tener cuidado en la selección de hortalizas que se quieran cultivar y en qué lugar estarán y así estar al tanto de ciertos parámetros como temperatura, humedad, luminosidad y sustratos. En la Figura 1 se aprecia una representación de un huerto vertical.



Figura 1. Representación de un huerto vertical.

2.1.6.3. Huertos hidropónicos

La hidroponía o agricultura hidropónica es un método de cultivo de plantas utilizando soluciones minerales en lugar de suelo agrícola [19], [20]. En la Figura 2 se muestra un ejemplo representativo de un huerto hidropónico. Este tipo de huerto suele ser costoso en sus materiales, mano de obra y los sustratos [7].

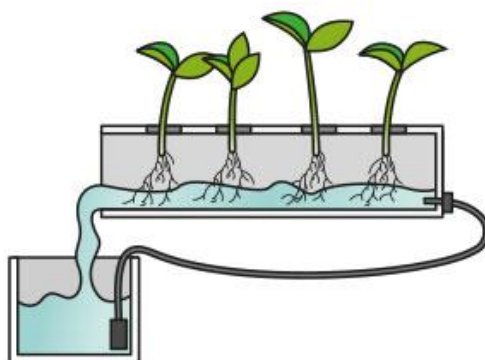


Figura 2. Representación de un sistema hidropónico.

Una variante de este tipo de huertos son los huertos acuapónicos que son semejantes a diferencia de que viven peces en el agua donde se encuentra el cultivo.

2.1.7 Ciclo de vida de plantas en un huerto

En la Tabla 2. Se muestra el ciclo de vida de algunas hortalizas con la característica de ser las hortalizas que se pueden cosechar en cuatro meses o menos [7].

Tabla 2 Ciclo de vida de las hortalizas para cultivo.

Hortalizas	Días a la germinación	Días a la cosecha	Distancia entre plantas (cm)	Profundidad de siembra (cm)
Tomate	7-14	55-90	40-60	0.6-1.5
Pepino	7-14	50-70	30-50	1.5-2.5
Rábano	3 - 5	25-35	2-3	0.6
Calabacín	7-10	50-70	80-100	2.5
Lechuga	5-10	25-50	10-20	0.6
Espinacas	7-12	40-50	5-10	0.6
Coliflor	6-10	70-90	40-50	0.6
Zanahoria	12-18	60-80	5-7	0.6
Remolacha	7-12	50-65	7-10	1.5
Berenjena	10-14	80-90	50-60	0.6
Perejil	15-20	75-90	10-25	0.6
Cebolla	7-12	85-120	5-7	3-5
Papa	15-20	100-120	25-35	7-10
Pimentón	7-10	80-90	20-40	2.3

Cebollín	8-10	60-70	10-5	2-3
Cilantro	6-7	60-70	10-15	2-3

2.2 Parámetros significativos para el desarrollo de un cultivo

A continuación, se presentan los parámetros más significativos usados al momento de cultivar[21]–[23].

- Temperatura: No todas las plantas toleran las mismas temperaturas por lo que es importante monitorear para que las variaciones no las afecten.
- Suelo: Se tiene que tomar en cuenta la localización y los sustratos a utilizar.
- Luz: Esta podrá ser natural o artificial, proveerá la energía necesaria para que la planta realice la fotosíntesis, favoreciendo al desarrollo y crecimiento.
- Humedad: La importancia de este parámetro radica en los indicadores que se obtienen de la cantidad de agua de la planta, demasiada agua provocará que la fotosíntesis se frene.
- Medidor de pH: El pH del suelo es una de las condiciones ambientales que afectan la calidad del crecimiento de la planta.
- Riego: Se debe manejar una cantidad de específica para el cuidado de la planta y el suelo, así como para ahorra agua.
- Fertilización: la cantidad de nutrientes debe estar regulada para no tener desperdicios o dañar algún cultivo.

2.3 Aplicaciones para un huerto inteligente

Las aplicaciones van desde riego automático, sensores de temperatura y humedad, cortadoras de césped robóticas inteligentes, toldos abiertos y cerrados, iluminación exterior inteligente que puede activarse por actividades rutinarias o condiciones de luz/clima.

También es posible hacer del jardín un lugar acogedor para pasar momentos agradables en familia o ser el alma y anfitrión de la fiesta gracias al área domótica. [24]

2.4 Internet de las cosas

IoT es un avance tecnológico que habla del futuro de la informática y las comunicaciones y su mejora se basa en el avance técnico dinámico en varios campos vitales [19]. Los dispositivos inteligentes formarán el llamado enjambre sensorial y serán la mayoría del sistema. Se prevé que el número de cosas conectadas superará los 7 billones en 2025, con una estimación de unos 1000 dispositivos por persona. Una parte de ellos será portable, pero la mayoría estará en la infraestructura [25], [26].

Mediante la informática de bajo costo, la nube, big data, analítica y tecnologías móviles, las cosas físicas pueden compartir y recopilar datos con una mínima intervención humana. En este mundo hiperconectado, los sistemas digitales pueden grabar, supervisar y ajustar cada interacción entre las cosas conectadas. El mundo físico y el digital van de la mano y cooperan entre sí. [27]

Dentro del contexto de este proyecto IoT ayuda a mantener la conectividad de los dispositivos de sensado con el sistema que monitorea y controla.

2.4.1 IoT en la agricultura

El Internet de las cosas (IoT) en la agricultura es una tendencia que ha llegado para quedarse, tiene la capacidad de ahorrar recursos trazando caminos sostenibles para la agroindustria. Al reducirse el control manual del campo el productor gana tiempo para preparar estrategias que permitan aumentar el rendimiento de los plantíos [28]. Con esto se espera que la producción agrícola apoyada de aplicaciones tecnológicas IoT incremente en un 70% la producción global de comida para así generar un impacto positivo para el año 2050.[29]

IoT en la agricultura no es exclusivo para aplicarlo en grandes extensiones de tierra, como en los campos, se puede trabajar en proyectos pequeños en el hogar y así

mejorar las condiciones de los cultivos caseros y al mismo tiempo ahorrar tiempo en el mantenimiento de dicha cosecha.

2.5 Domótica

La tecnología aplicada al hogar, conocida como domótica, integra automatización, informática y nuevas tecnologías de comunicación; todas ellas dirigidas a mejorar la comodidad seguridad y el bienestar dentro de los hogares [30].

Los diccionarios franceses incorporaron el término “domotique” a partir de 1998. Esta palabra, traducida al castellano por domótica, es originaria de la palabra latina “domus” (de la que ha derivado la raíz domo que quiere decir casa) y de la palabra francesa “informatique” (de la que ha derivado la palabra informática) o, según otros autores, “robotique” (robótica). Este término de uso común en España no ha conseguido imponerse en diversos países de Hispanoamérica; donde aún se han quedado con el término “inteligente”, sin avanzar hacia la diferenciación entre domótica e inmótica.[31]

2.5.1 Viviendas inteligentes

La vivienda domótica es, por lo tanto, aquella que integra una serie de automatizaciones en materia de electricidad, electrónica, robótica, informática y telecomunicaciones, con el objetivo de asegurar al usuario un aumento del confort, de la seguridad, del ahorro energético, de las facilidades de comunicación, y de las posibilidades de entretenimiento. [32]

En la domótica, las aplicaciones son muy variadas basadas en el concepto de vivienda inteligente, en ellas se puede hallar dispositivos de autonomía general que realizan sus procedimientos sin la necesidad de la intervención humana, como por ejemplo “refrigeradores inteligentes que avisan al usuario la ausencia de alimentos y/o toman la decisión de solicitar a domicilio los alimentos necesarios vía Internet por un requerimiento elaborado por el horno microondas que eligió preparar una receta especial para el almuerzo”[33].

Así mismo sucede con los sistemas de control de acceso para la casa digital, donde gracias a procesos como digitalización de señales y dispositivos de análisis biométricos

(identificación de huellas, retina) es posible administrar y gestionar procesos de vigilancia en cuanto a la seguridad del hogar, logrando con ello un sistema inteligente de vigilancia.

Las principales aplicaciones de la domótica son las siguientes dentro del interior del hogar.

- Control local y remoto de la iluminación en la vivienda.
- Iluminación por detección de presencia.
- Automatización de persianas y toldos.
- Control y gestión de la energía.
- Acceso electrónico al hogar porteros digitales (Televigilancia) en seguridad se pueden utilizar sistemas biométricos.
- Control y monitoreo de alarmas técnicas como detección de fugas de agua, gas, humo.
- Sistemas de mensajería si algo sucede en el hogar.
- Realización de acciones preventivas automáticas cierre de persianas corte de la energía entre otros.
- Climatización.
- Control del aire acondicionado para regular la temperatura dentro de la vivienda.
- Control de riego.
- Control y diagnóstico de electrodomésticos y ahorro de energía.
- Encendido y apagado remoto de electrodomésticos. [31]

2.6 Automatización

La automatización es el uso de la tecnología para realizar tareas con una mínima intervención humana. Se puede implementar en cualquier industria donde se realicen tareas repetitivas. Sin embargo, es más habitual en los campos de la fabricación, la robótica y la automoción, y en el mundo de la tecnología: en software y sistemas informáticos para la toma de decisiones empresariales [34].

La automatización también está presente en algunas actividades del hogar como el cuidado de un cultivo casero en para que no olvidemos regarlo, alumbrar la luz del frente de la casa por la tarde o apagarla por la mañana, ahorrar tiempo y dinero, así como beneficiarse de la comodidad y el consumo inteligente de energía.

Incluso la automatización puede verse en macetas inteligentes que permitan mantener en una pequeña huerta vegetales o plantas en buen estado. [22]

La llamada Industria 4.0 o la llamada próxima revolución industrial ve en el IoT un pilar fundamental para su desarrollo. Al garantizar la interoperabilidad entre redes y sistemas dispares, la recopilación de datos a través de sensores y la toma de decisiones descentralizada a través de la automatización de procesos, las grandes empresas y las personas pueden beneficiarse de la optimización a través de tecnologías basadas en la nube. [35]

2.7 Sistema embebido

Un sistema embebido (SE) o sistema empotrado lo vamos a definir como un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar unas determinadas funciones, habitualmente formando parte de un sistema de mayor entidad. La característica principal es que emplea para ello uno o varios procesadores digitales (CPUs) en formato microprocesador, microcontrolador o DSP lo que le permite aportar ‘inteligencia’ al sistema anfitrión al que ayuda a gobernar y del que forma parte. [36]

2.7.1 Los sistemas embebidos en aplicaciones domóticas

Los huertos urbanos han traído de vuelta el cultivo de alimentos en zonas adecuadas como balcones, azoteas, azoteas, pequeños jardines u otros espacios con acceso a la luz solar, donde se pueden conseguir diferentes variedades como hortalizas, legumbres, flores, etc. con el inconveniente de no tener un proceso o herramienta automatizados para mantener estas áreas.

El mantenimiento del seguimiento y control del huerto requiere un sistema embebido con controles específicos de variables físicas y medios de comunicación entre el sistema y una base de datos externa. [37]

2.8 Microcontroladores

Para el hogar inteligente es necesario contar con un dispositivo que se encargue del control de los distintos dispositivos que se hallen al interior del hogar, este dispositivo es llamado microcontrolador que es el común denominador en cuanto a mando o accionamiento de los electrodomésticos, también es el encargado de recibir la información y procesarla de acuerdo con la petición que haga el usuario de encender o apagar un dispositivo en la vivienda.

Los microcontroladores son el nuevo orden mundial en cuanto a control. Estos chips reducidos están presentes en muchos campos de interacción humana como el trabajo, la casa y en general en muchas facetas de la vida. Se pueden encontrar controlando el funcionamiento de los ratones (Mouse) y teclados de los computadores, en los teléfonos, en los hornos microondas y los televisores del hogar.

Pero la proliferación está en su apogeo y en el siglo XXI se observará la conquista masiva de estos diminutos chips, que gobernarán la mayor parte de los aparatos que se fabrican y usan en la humanidad. En la actualidad es necesario tener pleno control sobre los procesos, para llegar a ello se usan los microcontroladores, que dependiendo de sus características permiten realizar múltiples actividades; por tal motivo es necesario conocer el manejo de los microcontroladores para el desarrollo y diseño de cualquier dispositivo digital moderno o en para este caso un dispositivo domótico.

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos. Sistemas Digitales de Mando y Control Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).

- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

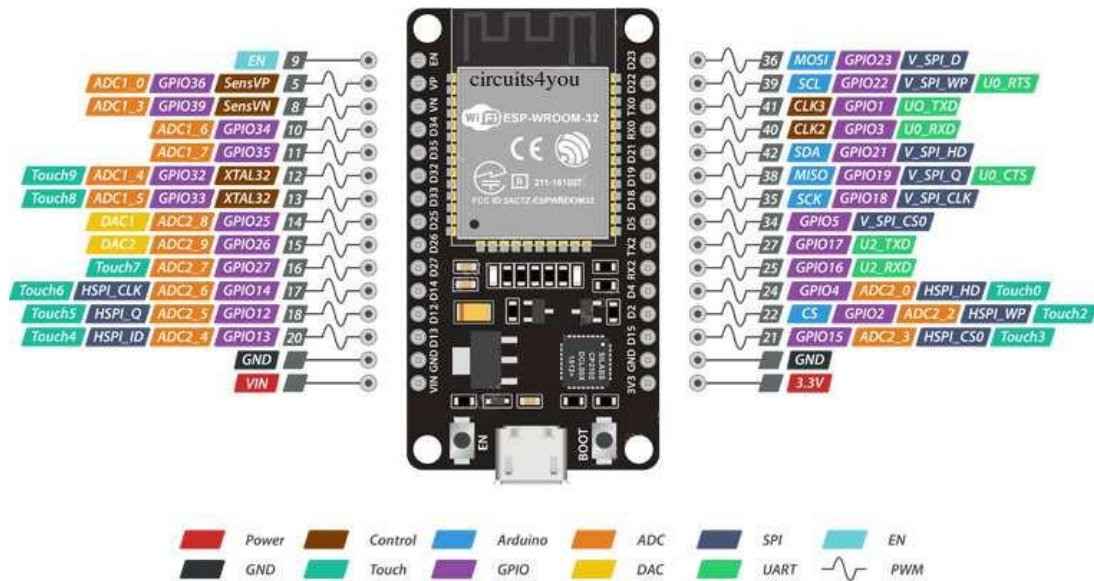
El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna.

2.8.1 Características de los microcontroladores

- Buena información, fácil de conseguir y económica. Poseen una elevada velocidad de funcionamiento gracias a su operatividad a alta frecuencia.
- Herramientas de desarrollo fáciles y baratas. Muchas herramientas software se pueden recoger libremente a través de Internet desde Microchip, Atmel, Motorola, Intel, etc.
- Existe una gran variedad de herramientas hardware que permiten grabar, depurar, borrar y comprobar el comportamiento de los microcontroladores [33].

2.9 Modulo ESP32

La placa de desarrollo o DEVKIT V1 NodeMCU-32 es una herramienta muy potente para el prototipado rápido de proyectos con IoT. Integra en una placa el SoM ESP-WROOM-32 que tiene como base al SoC ESP32, el conversor USB-serial CP2102 necesario para programar por USB el ESP32, reguladores de voltaje y leds indicadores. La plataforma ESP32 es la evolución del ESP8266 mejorando sus capacidades de comunicación y procesamiento computacional [38]. En la Figura 3 se muestra la descripción de entradas y salidas del ESP32.



ESP32 Dev. Board Pinout

Figura 3. Esquema de interfase de la tarjeta [38]

2.9.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 es una plataforma de desarrollo similar a Arduino especialmente orientada al Internet de las cosas (IoT). La placa NodeMcu v2 ESP8266 tiene como núcleo al SoM ESP-12E que a su vez está basado en el SoC Wi-Fi ESP8266, integra además el convertor USB-Serial TTL CP2102 y conector micro-USB necesario para la programación y comunicación a PC. NodeMcu v2 ESP8266 está diseñado especialmente para trabajar montado en protoboard o soldado sobre una placa. Posee un regulador de voltaje de 3.3V en placa, esto permite alimentar la placa directamente del puerto micro-USB o por los pines 5V y GND [39]. En la Figura 4 se muestra la descripción de entradas y salidas del ESP8266.

El ESP8266 tiene potentes capacidades de procesamiento y almacenamiento integradas que permiten la integración con sensores y dispositivos específicos de la aplicación a través de GPIO con un mínimo esfuerzo de desarrollo y tiempo de ejecución. Su alto nivel de integración en el chip minimiza los circuitos externos y toda la solución, incluido el módulo, está diseñada para ocupar un espacio mínimo en la PCB.

Características especiales

- Encendido y transferencia de paquetes < 2ms.
- El consumo de energía en espera es de menos de 1.0mW (DTIM3)
- Rango de temperatura de operación: -40°C ~ 125°C
- Voltaje de alimentación: 3.3 V. Este módulo no tolera 5 V. Cualquier voltaje superior a 3.6 V en sus entradas o en el pin de alimentación puede dañarlo.[40]

2.9.2 ESP32 sensor de temperatura y humedad

Sensor de temperatura y humedad de bajo costo y rápida respuesta de medición, cuenta con un microcontrolador de 8 bits para asegurar su fiabilidad a lo largo del tiempo, puede medir la humedad desde 20% a 95% y temperatura de 0 °C a 50 °C. Su protocolo de comunicación es a través de un solo hilo, lo que facilita su integración [41], [42]. En la Tabla 3 se muestran las especificaciones del sensor de temperatura y humedad.

Tabla 3. Datos y especificaciones del sensor

Voltaje	Medición Humedad	Medición Temperatura	Precisión Humedad	Temperatura Precisión	Periodo de medición	Dimensiones	Peso
3.5 V	~ 20 ~ 90% HR	0 ~ 50 ° C	+ - 4% HR	+ - 2 ° C	2 s	23 x 17 x 20 mm	2.2 g

2.9.3 Sensor de temperatura y humedad

Los sensores de temperatura y humedad tienen un gran efecto en el desarrollo del rendimiento. Mantener el sensor de temperatura y humedad dentro de cualidades específicas también mantiene los cultivos sólidos. Para filtrar la temperatura y la humedad, podemos utilizar DHT22 o DHT11 para NodeMCU. El DHT22 (RHT03) es

un sensor avanzado fundamental de temperatura y humedad de costo mínimo. Utiliza un sensor de humedad capacitivo para medir el aire circundante y enviar una señal digital en el pin de información (no se requieren pines de información simples) [41].

2.9.4 Sensor luminosidad

Un sensor de luminosidad es un dispositivo que permite conocer el grado de iluminación de un entorno concreto. Los sensores de luminosidad suelen estar conectados a otros dispositivos, que son los receptores de esta información respecto a la luminosidad ambiental detectada y, a partir de esta información, actúan de un modo u otro. En la Figura 6 se muestra la imagen de un sensor de luminosidad.



Figura 6. Sensor de luminosidad.

El módulo tiene un regulador interno de 3.3V pudiendo alimentar con 5V sin problemas.

La interfaz de comunicación es I2C pudiéndolo implementar en la mayoría de los microcontroladores, el módulo aparte de los pines de alimentación y pines I2C tiene un pin para establecer la dirección.[43]

2.9.5 Sensor de humedad del suelo

Es un dispositivo económico y fácil de usar, que se utiliza para controlar el nivel de humedad del suelo. Se utiliza una capacitancia para evaluar la permitividad dieléctrica del medio circundante. El contenido de agua es la capacidad de la permitividad dieléctrica en la suciedad. La permitividad dieléctrica y la sustancia acuosa de la suciedad corresponden al voltaje generado por el sensor. [44]

2.9.6 Aplicación de Sensores

Los sensores son esenciales en los sistemas con procesos de control, algunos de los que se utilizarán [45]–[47], se describen a continuación:

- Temperatura: Permitirá monitorear el desarrollo de las plantas y así optimizar el uso de agua.
- Luz: esta podrá ser natural o artificial, proveerá la energía necesaria para que la planta realice la fotosíntesis, favoreciendo al desarrollo y crecimiento.
- Humedad relativa (HR): La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene la masa de aire y la que tendría si estuviera completamente saturada.
- Medidor de pH: Este es utilizado para medir la acidez o la alcalinidad y nos ayudara a controlar algunos de los procesos químicos que se presenten.

2.9.7 Raspberry PI

Raspberry Pi 3 Model B+ es un ordenador de placa única (SBC) de bajo costo, desarrollada con el objetivo de estimular la enseñanza de informática/programación. Posee la capacidad de funcionar como una computadora personal completa y usarla para navegar por internet, ver vídeos, redactar documentos, programar y jugar. Además, presenta la opción de trabajar de forma similar a un Arduino: permitiendo programar el uso de sus pines GPIO, que incluye también comunicación serial, SPI e I2C. Estas funciones hacen que pueda ser empleado en proyectos de electrónica y robótica interactuando con sensores y actuadores, especialmente útil en aplicaciones con procesamiento de imágenes/vídeo, cámaras y cálculos matemáticos complejos[46].

Especificaciones técnicas:

- Procesador ARMv8 Quad-Core 64-bit a 1.4GHz.
- CPU con disipador de metal.
- Gigabit Ethernet.
- WIFI de 2.4Ghz y 5Ghz integrado 802.11 b/g/n/ac.
- Bluetooth 4.2 y BLE.
- Etapa de regulación de voltaje más eficiente.

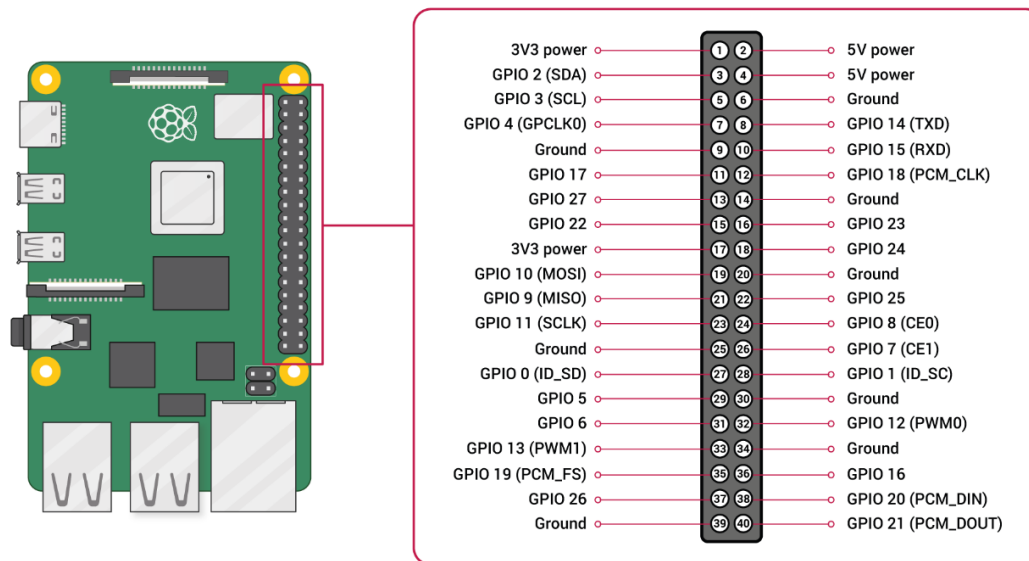


Figura 7. Estructura con Pinout de RASPBERRY PI [47]

2.10 Inteligencia artificial

En pocas palabras, la IA se refiere a sistemas o máquinas que imitan la inteligencia humana para realizar tareas y que pueden mejorar iterativamente en función de la información recopilada. La IA se manifiesta de diferentes formas.

En medio de la crisis económica, alimentaria y ambiental que se vive, lo más recomendable es plantar un huerto en nuestro balcón o azotea. “La ventaja es que para ello ahora podemos pedirle ayuda a la IA”[48], [49].

Los principales huertos inteligentes se ayudan de sensores insertados en la tierra y cámaras que monitorean a los cultivos, para obtener información de las necesidades que cada planta requiere para crecer adecuadamente, de esta forma se puede crear un huerto con los nutrientes adecuados para cada cultivo y así obtener la mejor producción en cada uno de ellos. [1]

2.10.1 Sistemas Híbridos Inteligentes

Los sistemas híbridos inteligentes son sistemas que combinan múltiples técnicas y enfoques de inteligencia artificial con el objetivo de resolver problemas complejos. Estos sistemas pueden combinar, por ejemplo, aprendizaje automático, lógica difusa, redes neuronales, sistemas expertos y algoritmos genéticos, entre otros, para crear soluciones más efectivas y robustas que las que podrían lograrse con una sola técnica. Estos sistemas se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde el control de procesos industriales hasta la toma de decisiones en entornos de negocios y financieros. En resumen, los sistemas híbridos inteligentes pueden ser muy útiles cuando se enfrentan problemas complejos que requieren una combinación de enfoques para resolverlos de manera efectiva [50]. En la Figura 8 se muestran los subcampos de los sistemas híbridos inteligentes.

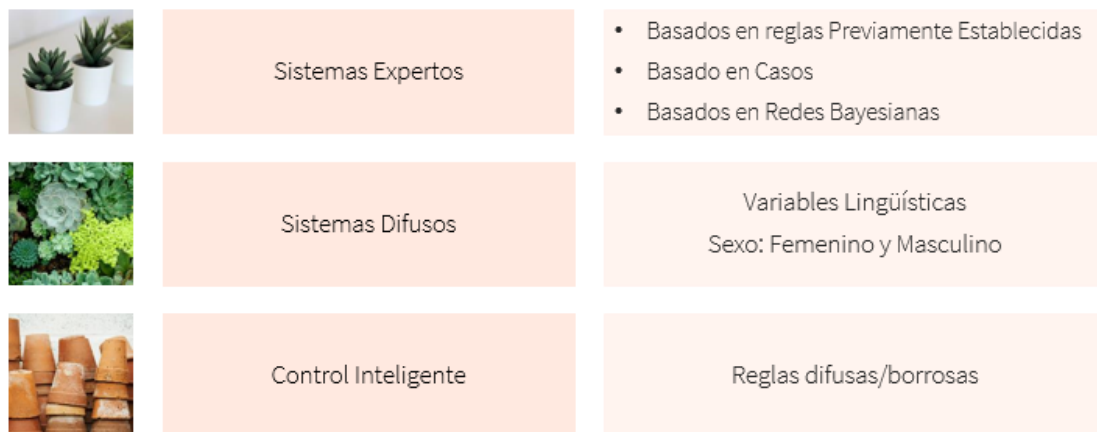


Figura 8. Sistemas híbridos inteligentes

2.10.1.1. Sistemas Expertos

El empleo de la IA es variado actualmente se utiliza principalmente en áreas de informática y la robótica, no obstante, se está extendiendo tanto en las ciencias sociales como ciencias empresariales. Así mismo, las redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos son tecnologías cada vez más difundidas, principalmente en los campos de la investigación y la previsión del mercado. Los Sistemas Expertos (SE) pueden ser considerados como un subconjunto de la IA. El nombre Sistema Experto deriva del término “sistema experto basado en conocimiento”. Un Sistema Experto es un sistema que emplea conocimiento humano capturado en una computadora para resolver problemas que normalmente requieran de expertos humanos. Los sistemas bien

diseñados imitan el proceso de razonamiento que los expertos utilizan para resolver problemas específicos. Dichos sistemas pueden ser utilizados por no-expertos para mejorar sus habilidades en la resolución de problemas. Los SE también pueden ser utilizados como asistentes por expertos. Además, estos sistemas pueden funcionar mejor que cualquier humano experto individualmente tomando decisiones en una específica y acotada área de pericia, denominado como dominio[51]. En la Figura 9 se puede observar el diagrama de la estructura de un sistema difuso experto, así como un ejemplo de las reglas.

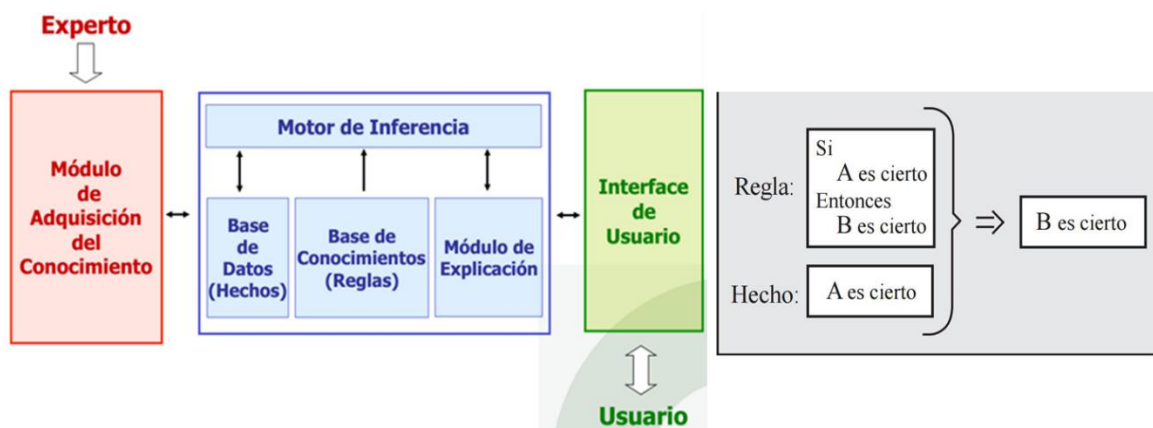


Figura 9. Diagrama de la estructura de un sistema experto.

2.10.1.2. Sistema difuso

Hoy en día, la lógica difusa se usa en muchas aplicaciones industriales y comerciales; en la optimización de recursos energéticos como la electricidad y los combustibles; en electrodomésticos, cámaras digitales, vehículos, bases de datos y por supuesto sistemas de control y robótica. Las principales razones de la amplia aceptación de este argumento son: la facilidad para comprender los sistemas difusos, la facilidad para representar cualitativamente el conocimiento del problema y la capacidad de adaptarse a casos específicos con un pequeño cambio en sus parámetros.

Se puede señalar que la principal finalidad de la lógica difusa es de proporcionarnos conceptos y técnicas formales orientadas computacionalmente, para tratar un razonamiento aproximado en vez de uno exacto.[52]

Una desventaja del sistema experto difuso es que es difícil llegar a una función de membresía y a una regla confiable sin la participación de un experto humano.

En la Figura 10 se muestra el diagrama de un sistema basado en técnicas de lógica difusa.

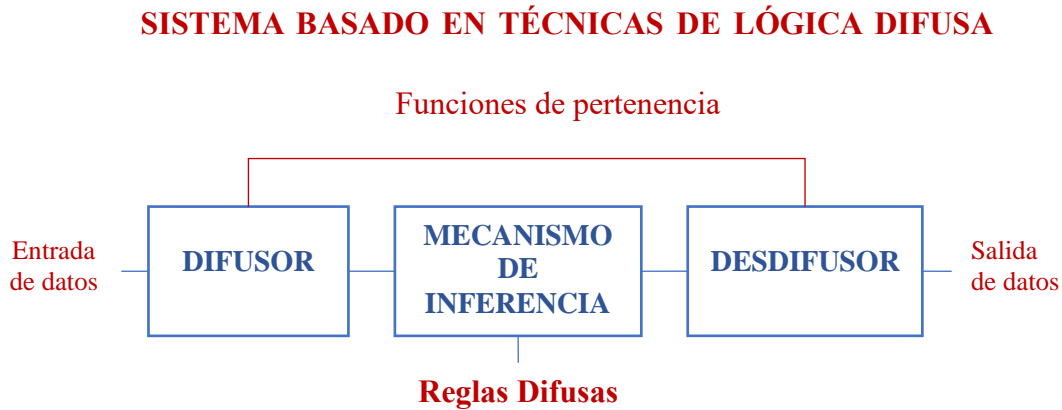


Figura 10. Diagrama de sistema experto difuso.

2.10.2 Conjuntos difusos tipo-1

Un T1 FS A , expresado por la $\mu_A(x)$ donde $x \in X$, descrito como $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$. Un ejemplo visual se muestra en la Figura 11, donde una función de pertenencia gaussiana genérica representa un T1 FS.

Un sistema de lógica difusa de tipo 1 (T1 FLS) puede describirse fácilmente mediante un diagrama de bloques, que se muestra en la Figura 12. Donde el Fuzzificador toma entradas conciso y las mapea a FS; la Inferencia, basada en Reglas, mapea Conjuntos Fuzzy de los antecedentes a FSs de los consecuentes; finalmente, el Procesador de Salida defuzzifica y emite un valor conciso.

El conjunto de reglas para T1 FLSs están en el formato como se muestra en la Ec. (1) donde se mapea la relación entre el espacio de entrada y salida. Donde R' es una regla específica, x_p , es la entrada p .

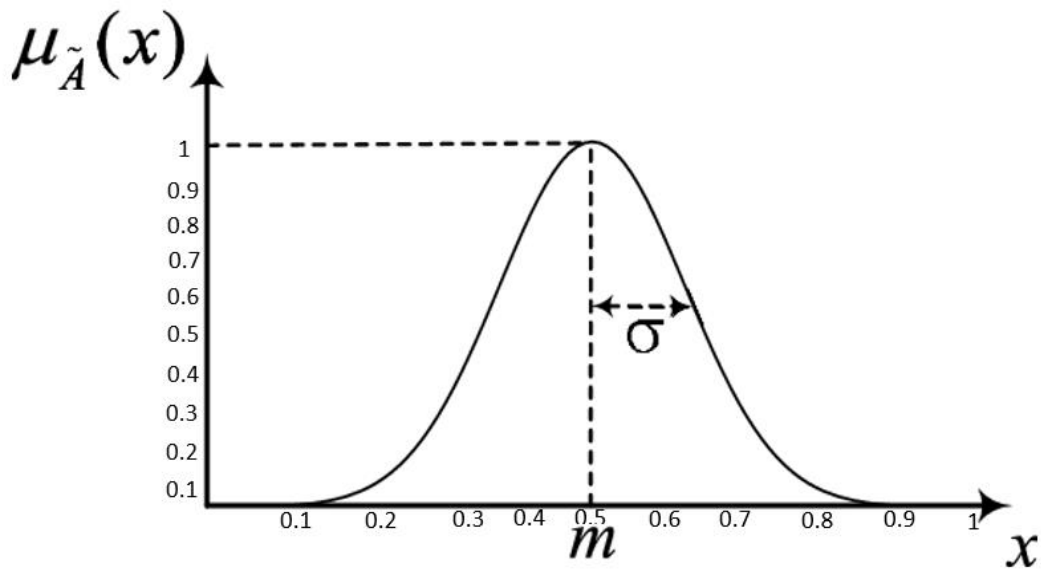


Figura 11. Ejemplo de un TI FS genérico en la forma de una función de pertenencia gaussiana

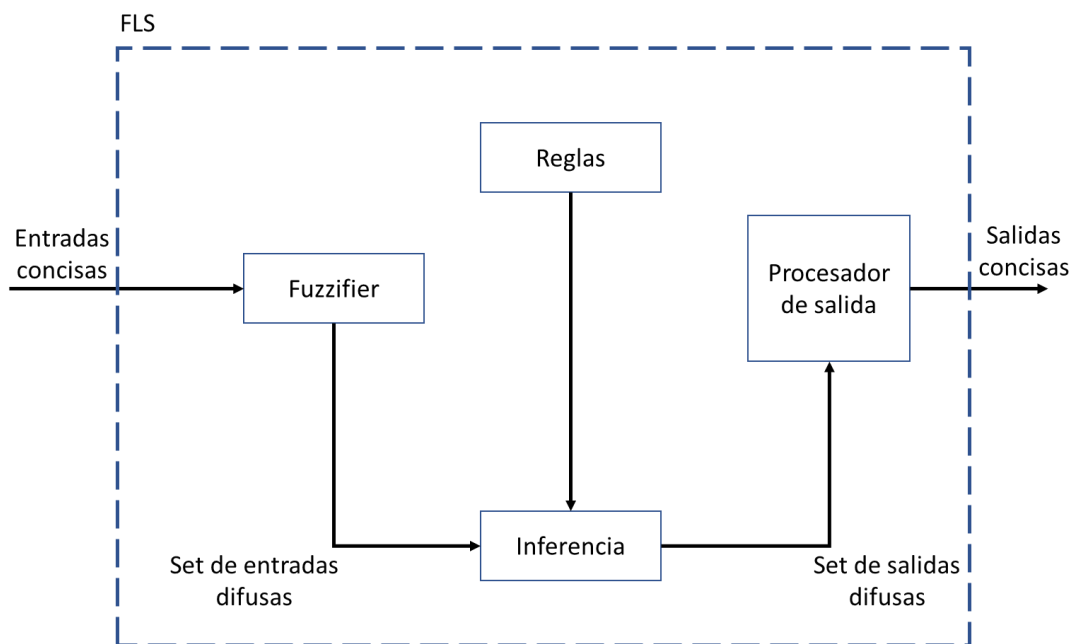


Figura 12. Diagrama de bloques describiendo los componentes principales de un FLS TI

F_p^i , es una función de pertenencia sobre la regla 1 y la entrada p , y es la salida sobre la función de pertenencia G^i . Tanto F como G tienen la forma de $\mu_F(x)$ y $\mu_G(y)$ respectivamente.

$$R^i: \text{IF } x_i \text{ es } F_l^1 \text{ y } \dots \text{ y } x_p, \text{ es } F_p^1, \text{ ENTONCES } y \text{ es } G^i, \text{ donde } l=1, \dots, M \text{ (Ec. 1)}$$

En cuanto a la inferencia que calcula la compatibilidad entre los antecedentes y los consecuentes, utilizando las t-normas (*), la Ec. (2) muestra la metodología básica necesaria para procesar dichas t-normas. Donde μ_{g1} es la función de pertenencia del consecuente después de ser procesada por los antecedentes y Y es el espacio de dominio para los consecuentes.

$$\mu_{B^i}(y) = \mu_{G^i}$$

$$(y)^* \sim \left\{ \left[x_2 \in x_1 \sup \mu_{x_1} (x_1) * \sim \mu_{F_1^1} (x_1) \right] * \sim \dots * \sim \left[x_\rho \in x_\rho \sup \mu_{x_\rho(x_\rho)} * \sim \mu_{F_\rho^1(x_\rho)} \right] \right\}$$

$$y \in Y$$

(Ec. 2)

El proceso de defuzzificación se puede lograr de muchas maneras, cada una obteniendo resultados similares. Ejemplos de defuzzificadores comunes son el centroide, mostrado en la Ec. (3); el centro de sumas, mostrado en la Ec. (4); o las alturas, mostradas en la Ec. (5). Donde y_i es una posición discreta de Y , $y_i \in Y$, $\mu_{B^i}(y)$ es un FS que ha sido mapeado desde las entradas, C_{B^i} denota el centroide en la salida i th, α_{B^i} es el área del conjunto, y y^{-1} es el punto que tiene el máximo valor de afiliación en el conjunto de salida i th[53].

$$y_c(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu_{B^i}(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_{B^i}(y_i)} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$y_a(x) = \frac{\sum_{i=1}^M C_{B^i} \alpha_{B^i}}{\sum_{i=1}^M \alpha_{B^i}} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$y_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y^{-1} \mu_{B^i}(y^{-1})}{\sum_{i=1}^M \mu_{B^i}(y^{-1})} \quad (\text{Ec. 5})$$

CAPÍTULO 3
HUERTOS
INTELIGENTES

3.1 Prototipo

Se planteó el diseño y desarrollo de un prototipo capaz de ayudar al usuario a mantener un huerto mediante el control de riego de los cultivos para autoconsumo. En la Figura 13 se muestra la estructura general del prototipo el cual se realizó en tres fases: Huerto, Sistema Embebido y Sistema experto como lo describe el diagrama de las fases del prototipo en la Figura 14.

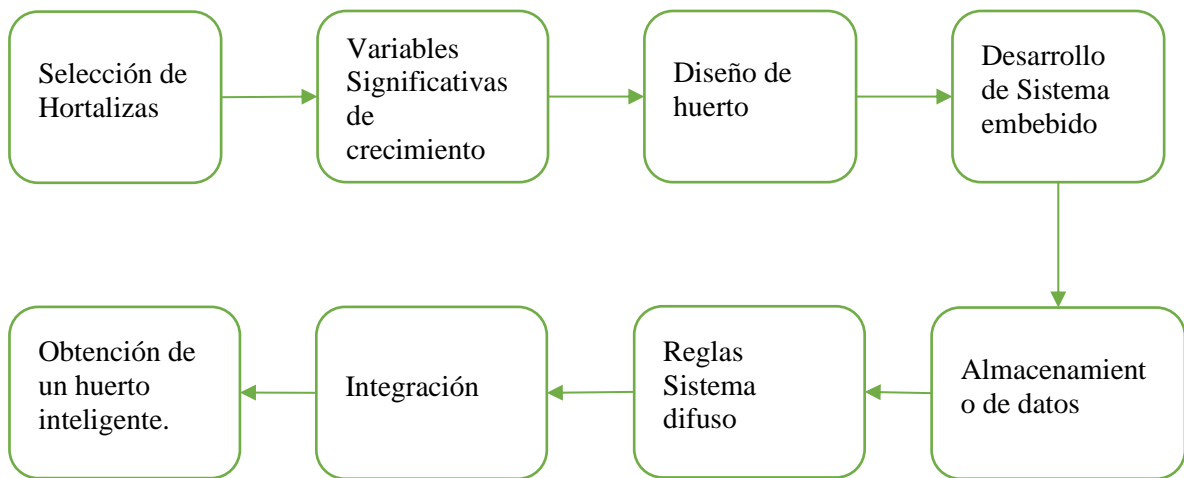


Figura 13. Estructura general del prototipado

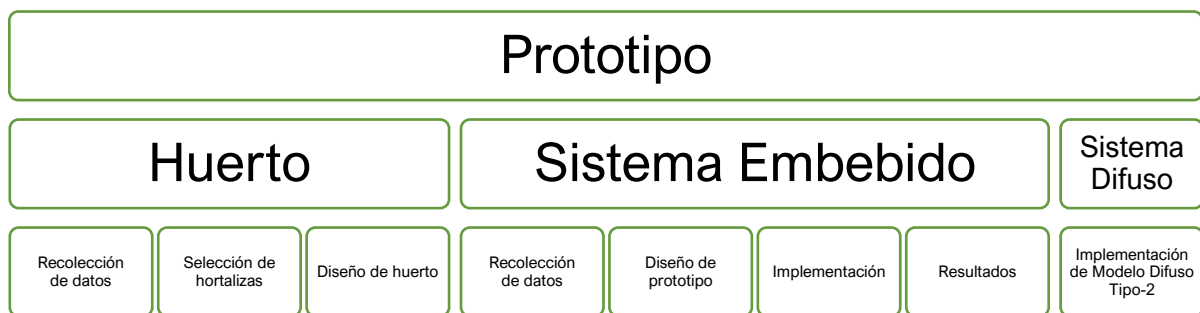


Figura 14. Fases del prototipo

3.2 Fase Huerto

3.2.1 Recolección de información

En esta primera fase se recopiló información sobre hortalizas apoyándonos de una encuesta a la población (ver Anexo).

Se realizó una selección de hortalizas más comunes de la región para llevar a cabo una encuesta sobre cuáles son las hortalizas que más se consumen y si pudieran cultivar sus propias hortalizas ¿cuáles serían las hortalizas que cosecharía? En la Figura 15 se muestran los datos obtenidos de dicha encuesta en la que se observó que las hortalizas más comunes consumidas en la región es el tomate, lechuga, cebolla, chile y calabaza. La figura 16. muestra las preferencias de cultivo de los encuestados, considerando las 3 posiciones más populares tenemos al tomate, chile, y calabaza empatada con pepino, pimiento y lechuga.

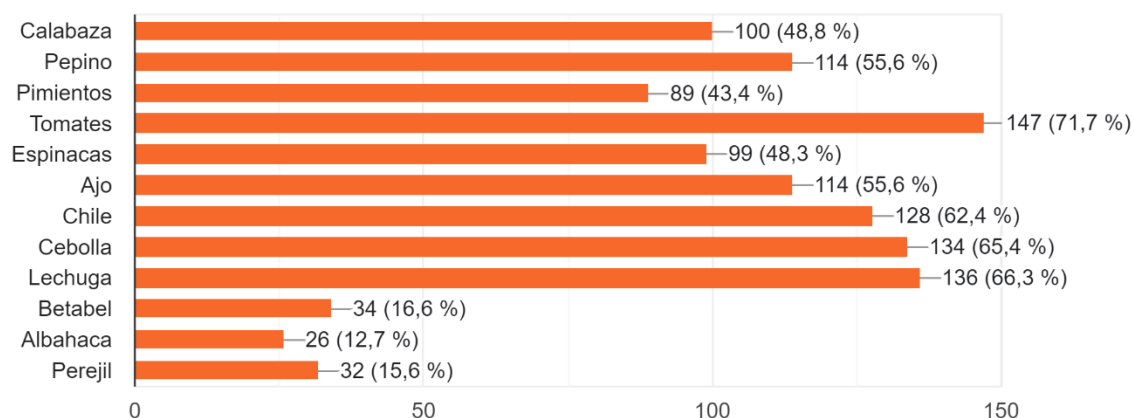


Figura 15. Gráfica de las hortalizas que más se consumen en un hogar

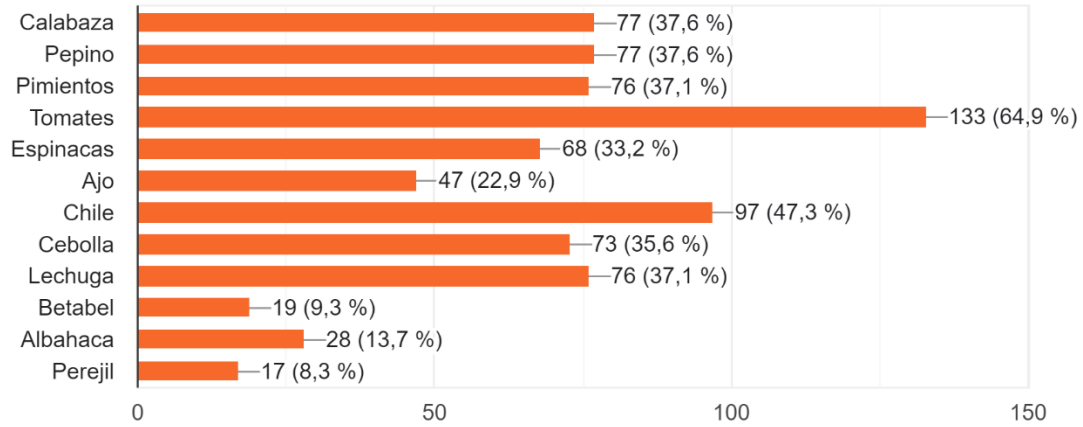


Figura 16. Grafica de las hortalizas que cultivarían en caso de poder hacerlo en su hogar

3.2.1 Selección de hortalizas y diseño de huerto

Una vez que se obtuvo la información se analizó y se seleccionó al tomate, esto, en conjunto con la información recabada de los parámetros más significativos para el crecimiento del cultivo y el clima de la región[54].

El tipo de huerto elegido fue huerto vertical en donde se hace uso de una pequeña jardinera con los horizontes de suelo que se muestran en la Figura 17.

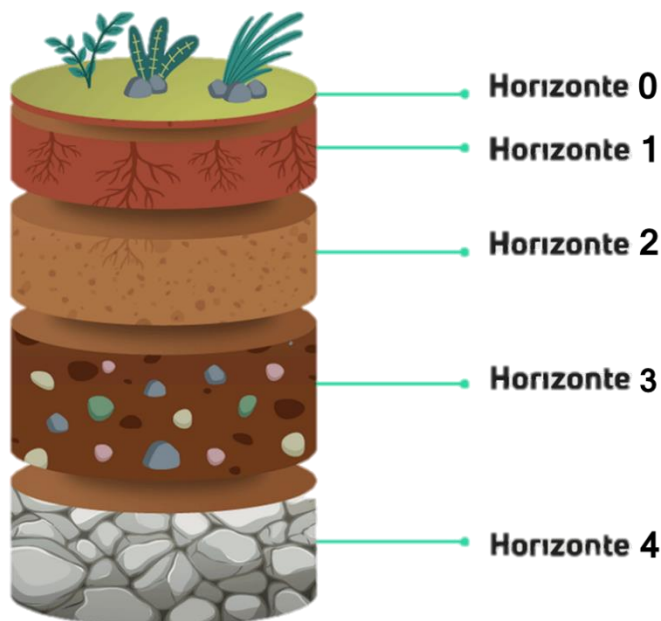


Figura 17. Horizontes de suelo [55]

Los horizontes de suelo se describen a continuación:

- El horizonte de suelo 0 es la capa superficial de tierra con perlita.
- El horizonte de suelo 1 tiene aproximadamente 30 cm de profundidad de tierra mezclada con 50% tierra 10% de perlita, 10% de vermiculita, 20% de humus de lombriz y 10% de peat moss. Es aquí donde la hortaliza expande sus primeras raíces.
- El horizonte de suelo 2 tierra común.
- El horizonte de suelo 3 tierra abonada con estiércol seco.
- El horizonte de suelo 4 está compuesto por piedras para una mejor filtración del agua.

3.3 Fase sistema embebido

Los parámetros significativos que se han tomado para el desarrollo de este prototipo son la temperatura, humedad y luminosidad y el control esta dado por un sistema de riego.

A continuación, se detalla el funcionamiento del monitoreo y control del prototipo.

3.3.1 Módulo de monitoreo

Este se encarga de tomar la lectura de los sensores seleccionados como lo son la temperatura, la humedad y la luminosidad.

Para realizar el monitoreo se cuenta con un módulo ESP32 tipo stick integrado con un sensor de temperatura y humedad con las siguientes especificaciones ESP32:

- Placa de desarrollo WIFI Bluetooth ESP32, para Arduino.
- Sensor de temperatura y humedad DHT11.
 - Maneja un rango de -0°C a 50°C para la temperatura y un rango de 0-100% para la humedad.
- Chip de comunicación CP2104 USB a TTL.

- Puerto micro USB.
- Módulo de detección de temperatura y humedad del suelo (largo)
- Soporte de batería de litio 6.18650 alimentado
- Tiempo de respuesta de <5s.
- Bajo consumo de energía

Igualmente, se utiliza un sensor de luminosidad donde se maneja un divisor de voltaje como se observa en la Figura 18.

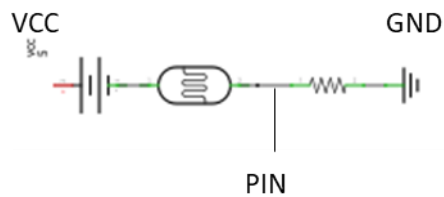


Figura 18. Divisor de voltaje.

Este módulo se encarga de tomar las lecturas a los parámetros significativos seleccionados como lo son la temperatura la humedad y la luminosidad. El módulo de monitoreo se conecta mediante WIFI que a su vez se conecta a un servidor en la nube.

En la Figura 19 se puede apreciar el proceso de la recolección de datos de los sensores y como se realiza la conexión del envío de estos datos hacia una base de datos en un servidor en la nube representado por un diagrama de bloques.

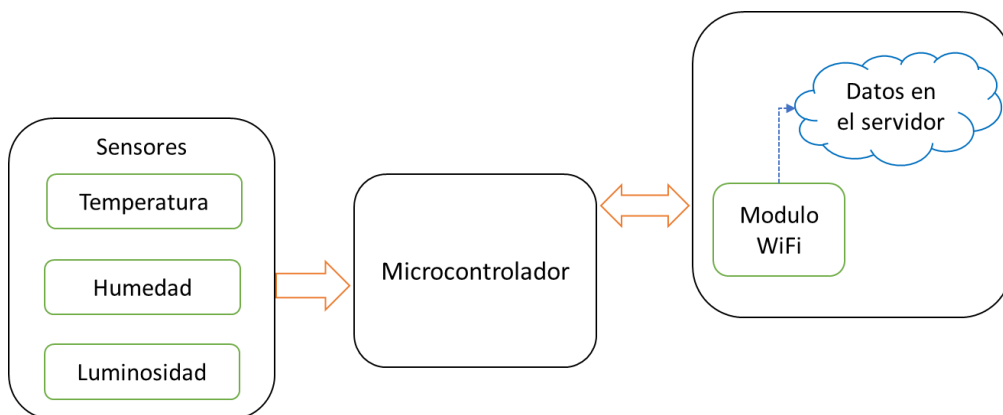


Figura 19. Diagrama de bloque de la conexión del envío de datos

En este punto del desarrollo se realizaron dos prototipos el primero con un módulo ESP8266, un sensor DHT y el módulo de luminosidad KY-018 [56] como se muestra en la Figura 20.

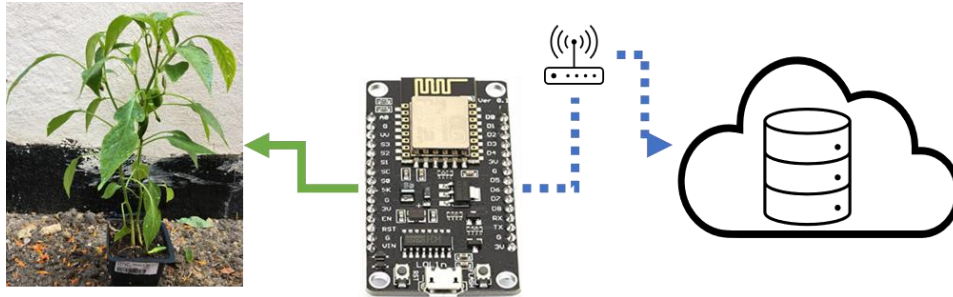


Figura 20. Conexión de modulo ESP8266 con integración de sensores a la nube.

Para el segundo prototipo se contó con un módulo ESP32 tipo stick con integración del sensor de temperatura, humedad y luminosidad el cual funciona con una batería 18650 que se clavó en la tierra cerca de la planta y se encargó de recolectar los datos y enviarlos a una base de datos en un servidor en la nube, tal como lo muestra la Figura 21.

En el Apéndice 1 Código en C para ESP32, se encuentra el código con las funciones necesarias para obtener los datos registrados por los sensores de temperaturas, humedad y luminosidad con apoyo del microcontrolador, así como el código a la conexión del envío de la información a la base de datos.

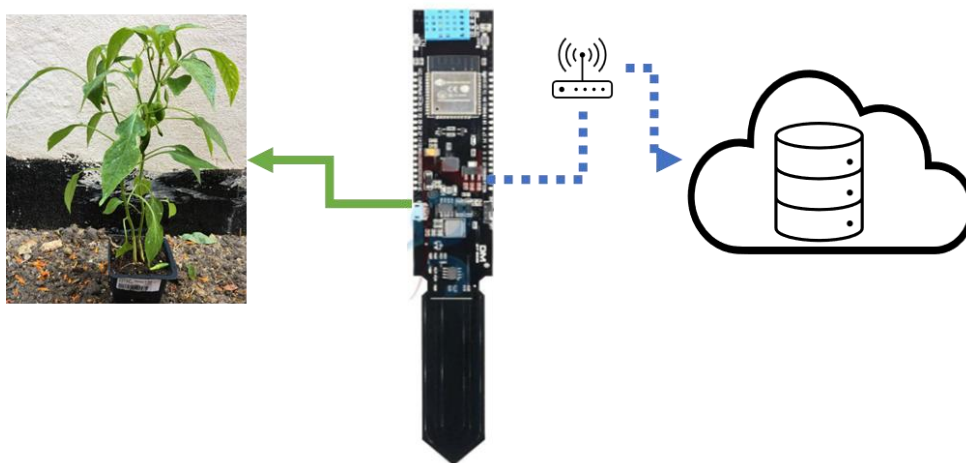


Figura 21. Conexión de Modulo ESP32 con integración de sensores a la nube

Los datos recopilados por medio de los sensores se envían a una base de datos en un servidor en la nube, en la cual se almacenan en bytes para la optimización de recursos. En la Tabla 4 se presentan cuatro columnas, en la columna “Tiempo” se presenta la fecha y hora en la que fue tomada la lectura, en la columna 2 llamada “Temperatura” se muestra la lectura tomada de la temperatura en byte, en la tercera columna llamada “Humedad” se muestra la humedad con un rango de 0 a 100, en la cuarta columna llamada “Luminosidad” se muestra la luminosidad expresada en un byte y en la última columna llamada “Módulo” se indica el número de dispositivo del cual se está realizando la lectura.

Conversión de unidades antes del almacenado en la nube:

- $\text{Temperatura} = (\text{Temperatura en centígrados} + 12) * 4$
- $\text{Humedad en porcentaje} = \text{Humedad}$
- $\text{Luminosidad} = \text{Luminosidad (lux)} / 8$

Tabla 4. Muestra de recolección de datos de los sensores hacia la base de datos

Tiempo	Temperatura	Humedad	Luminosidad	Módulo
2023-03-07 04:36:33	99	65	100	1
2023-03-07 04:37:48	98	67	112	2
2023-03-07 04:40:44	95	72	90	3
2023-03-07 04:42:35	99	63	99	1
2023-03-07 04:43:50	98	66	112	2
2023-03-07 04:46:46	94	72	90	3
2023-03-07 04:48:36	99	62	101	1
2023-03-07 04:49:52	97	67	112	2
2023-03-07 04:52:47	94	72	90	3

Conversión de unidades

- $\text{Temperatura en centígrados} = (\text{Temperatura} * 0.25) - 12$
- $\text{Humedad en porcentaje} = \text{Humedad}$
- $\text{Luminosidad (lux)} = \text{Luminosidad} * 8$

Realizando estas conversiones se obtienen los valores reales.

3.3.2 Módulo de control

Su objetivo es el de llevar a cabo el control del riego a las hortalizas por medio de un sistema hidráulico.

El funcionamiento es el siguiente:

- El sistema de riego funciona al recibir una señal del Módulo ESP32 al relevador el cual es el encargado de abrir o cerrar las válvulas de agua.
 - Se utilizan las siguientes señales por parte del módulo para realizar las acciones:
 - “0” para abrir la válvula
 - “1” para cerrar la válvula
- Ya que se están utilizando datos difusos las opciones son:
 - Regar Mucho
 - Regar
 - No Regar
- La diferencia entre estas reside en el tiempo, siguiendo el orden anterior los tiempos son:
 - Abre la llave durante 2 minutos
 - Regar durante 1 minuto
 - Cerrar o mantener la llave de agua cerrada

El sistema de riego está programado para que realice el ciclo 2 veces, durante las mismas se continua con las lecturas y 1 posterior análisis, si, para la tercera lectura aún necesita de más agua, se vuelve a tomar la decisión de si solo regara o regara mucho para hacer de nuevo los dos ciclos. El Figura 22 nos muestra un diagrama de flujo con el proceso de riego mientras que en la Figura 23 se observa la representación del sistema de riego y sus conexiones.

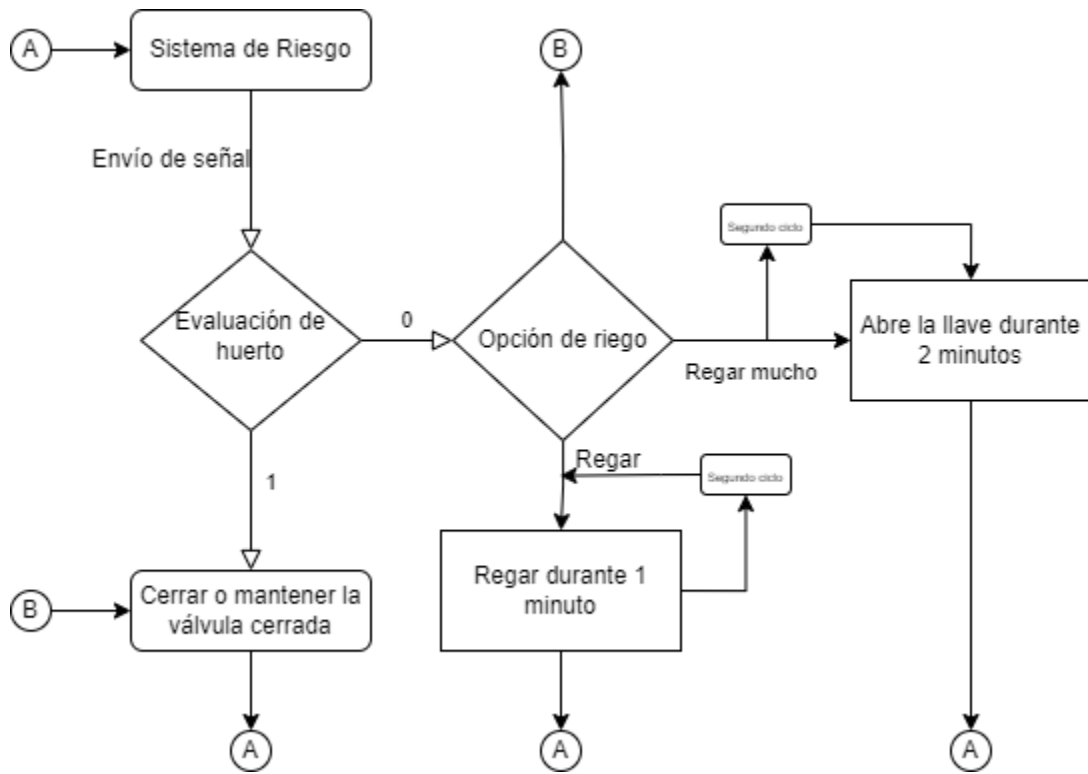


Figura 22. Funcionamiento de riego

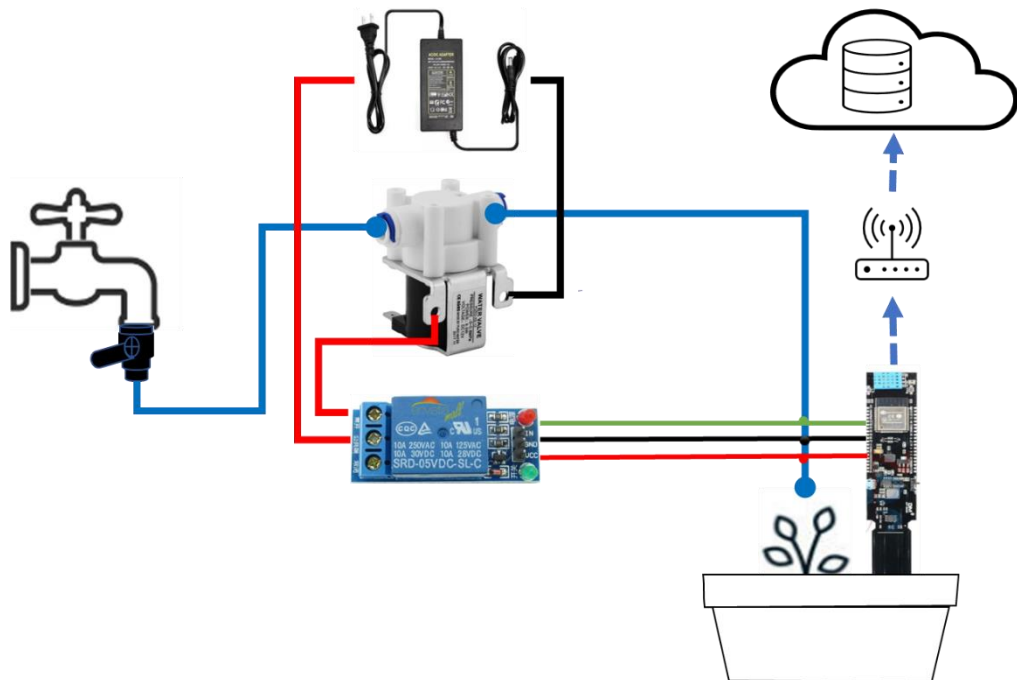


Figura 23 Representación del sistema de riego

3.4 Fase sistema experto

Este módulo se encarga de tomar los datos que se almacenan en la nube provenientes del módulo de monitoreo y son aplicados en el sistema experto diseñado con base en reglas. La Figura 24 muestra el proceso general que se lleva a cabo para el análisis y diseño de las reglas para así poder procesarlas en la plataforma Raspberry pi.

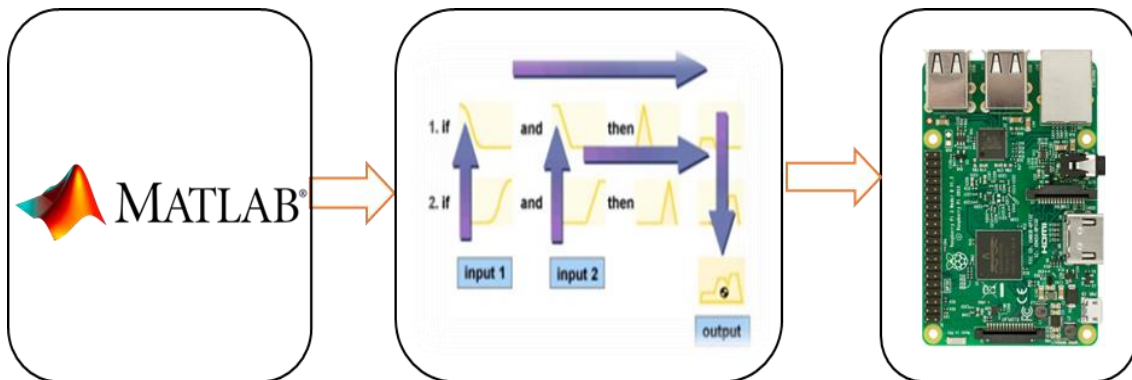


Figura 24 Representación de sistema experto.

En el apéndice 2 Código en Python 3 para Raspberry pi 3 se encuentra el código en Python en el cual se evalúan las reglas del sistema de lógica difusa.

El diseño de sistema inicial se realiza a través de la herramienta de Matlab™. En la Figura 25 se observa el modelo de inferencia difuso, del costado izquierdo se encuentran las entradas de datos analizadas, que son la temperatura y la humedad, en los cuales se fundamentan las reglas del sistema de inferencia difusa para así concluir con los resultados del costado derecho del modelo, en donde tenemos las salidas calculadas por el centroide de estas, que son regar la hortaliza o moverla debido a la cantidad de temperatura generada por estar en su posición expuesta.

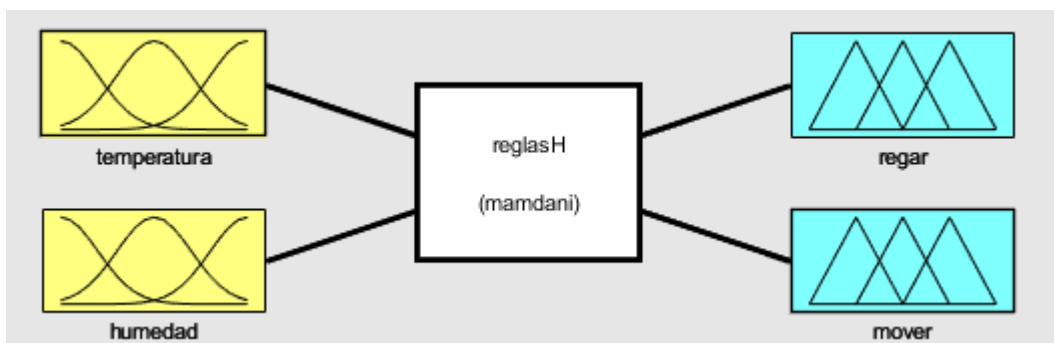


Figura 25 Modelo de inferencia difuso

3.4.1 Reglas difusas para el comportamiento del huerto

Reglas if-then difusas para el comportamiento del huerto

- If (temperatura is alto) and (humedad is seco) then (regar is regar mucho) (mover is mover) (1)
- If (temperatura is alto) and (humedad is optimo) then (regar is no-regar) (mover is mover) (1)
- If (temperatura is alto) and (humedad is saturado) then (regar is no-regar) (mover is mover) (1)
- if (temperatura is optimo) and (humedad is seco) then (regar is regar mucho) (mover is no mover) (1)
- if (temperatura is optimo and (humedad is optimo then (regar is no-regar) (mover is no mover) (1)
- if (temperatura is optimo) and (humedad is saturado) then (regar is no-regar) (mover is mover) (1)
- If (temperatura is optimo and (humedad is saturado) then (regar is no-regar) (mover is no mover)
- If (temperatura is bajo) and (humedad is seco) then (regar is regar) (mover is mover) (1)
- If (temperatura is bajo) and (humedad is optimo) then (regar is no-regar) (mover is no mover) (1)
- If (temperatura is bajo and (humedad is saturado) then (regar is no-regar) (mover is mover) (1)

Las reglas se diseñaron con información apoyada de bibliografía y opiniones de expertos. Una vez que se tuvieron las reglas y se configuraron los rangos en las funciones de membresía para la temperatura y la humedad fueron utilizadas en la plataforma Raspberry pi para ser evaluadas.

3.4.2 Sistema de Inferencia Difusa (FIS)

El sistema de inferencia difusa contiene las funciones de membresía basadas en Mamdani Tipo 1. En el Apéndice 3 Archivo FIS, se presenta el código donde se hace el uso las configuraciones en las funciones de membresías que se presentan a continuación.

3.4.1 Variables de Entrada

Función de membresía temperatura

La Figura 26 muestra la gráfica en la que el eje “X” representa la temperatura y el eje “Y” representa la regla, la regla al ser difusa se compone de 3 estados que representan a los rangos de temperatura, el primero con un rango de 0°C a 15°C, considerándose como temperatura baja para las hortalizas, un segundo rango que comprende desde los 10 °C hasta los 31 °C, siendo este la temperatura óptima y de mejor impacto para el crecimiento de las hortalizas y finalmente la temperatura alta donde se comprende el rango de 27°C a 37°C temperaturas en las que si se llega al límite superior, las plantas podrían secarse y quemarse debido a esta causa.

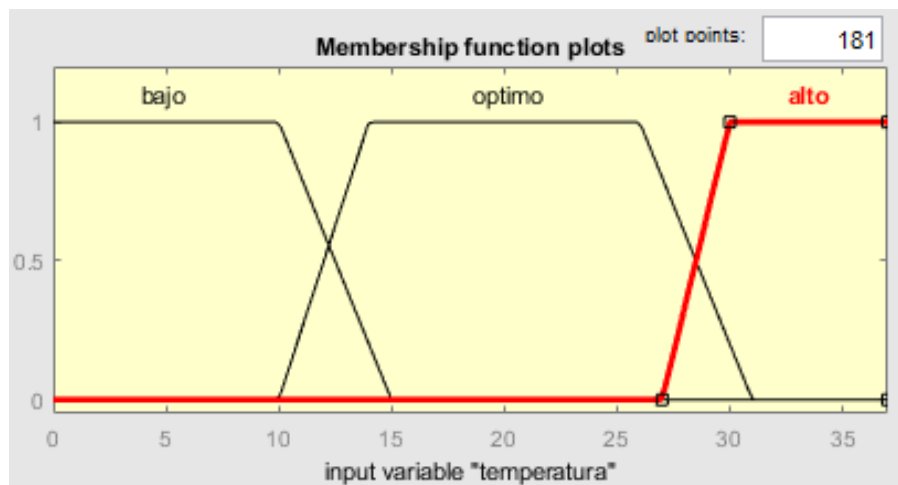


Figura 26. Función de membresía temperatura

Función de membresía Humedad

La siguiente variable empleada es la Humedad en la que se tienen tres rangos:

- **Seco:** Cuenta un rango de 0% a 35%
- **Optimo:** Emplea un rango de 20% a 90% en la que es la humedad óptima para el buen cultivo de las hortalizas.

- **Saturado:** Con un rango 80% a 100%. Dentro de este rango es importante mantener la humedad que se cuenta para que no exista saturación, lo cual puede resultar en pudrir a la hortaliza desde su raíz y por consecuente morir.

En la Figura 27 se muestra la gráfica de la función de membresía de la humedad.

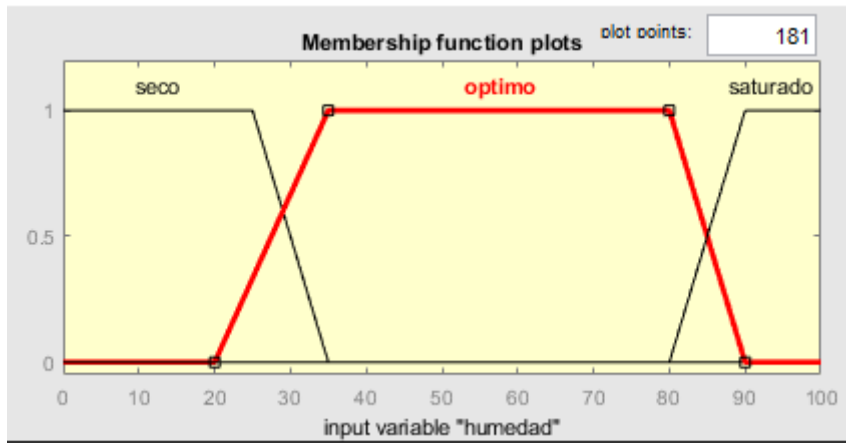


Figura 27. Función de membresía Humedad

Variable de Salida “Regar”

En la Figura 28 se muestra una de las variables de salida, “regar” en la que la salida está representada en una unidad que inicia en 0.1 hasta 1. Los rangos se comprenden entre 0 a 0.5 que nos habla de la acción “no regar” la planta, la acción “regar” toma los rangos desde 0.2 a 0.8 y por último la acción “regar mucho” en donde el rango va desde 0.51 a 1.

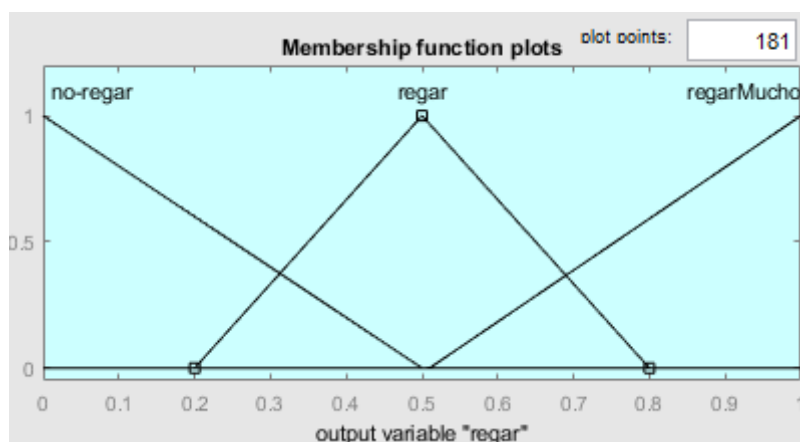


Figura 28. Variable de salida "Regar"

Variable de salida “Mover”

La última de las variables de salida mostrada en la Figura 29 es la de mover la planta, esta responde cuando el cultivo esta mucho tiempo en el sol, lo cual puede aumentar la temperatura y bajar rápido su humedad. Esta variable comprende la acción “no mover” con los rangos 0 a 0.5 y la acción “mover” de 0.51 a 1.

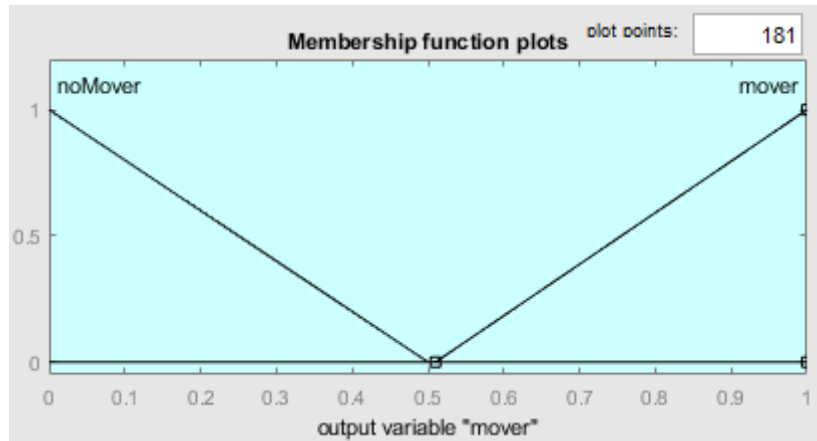


Figura 29. Variable de salida “Mover”

3.4.1 Respuesta

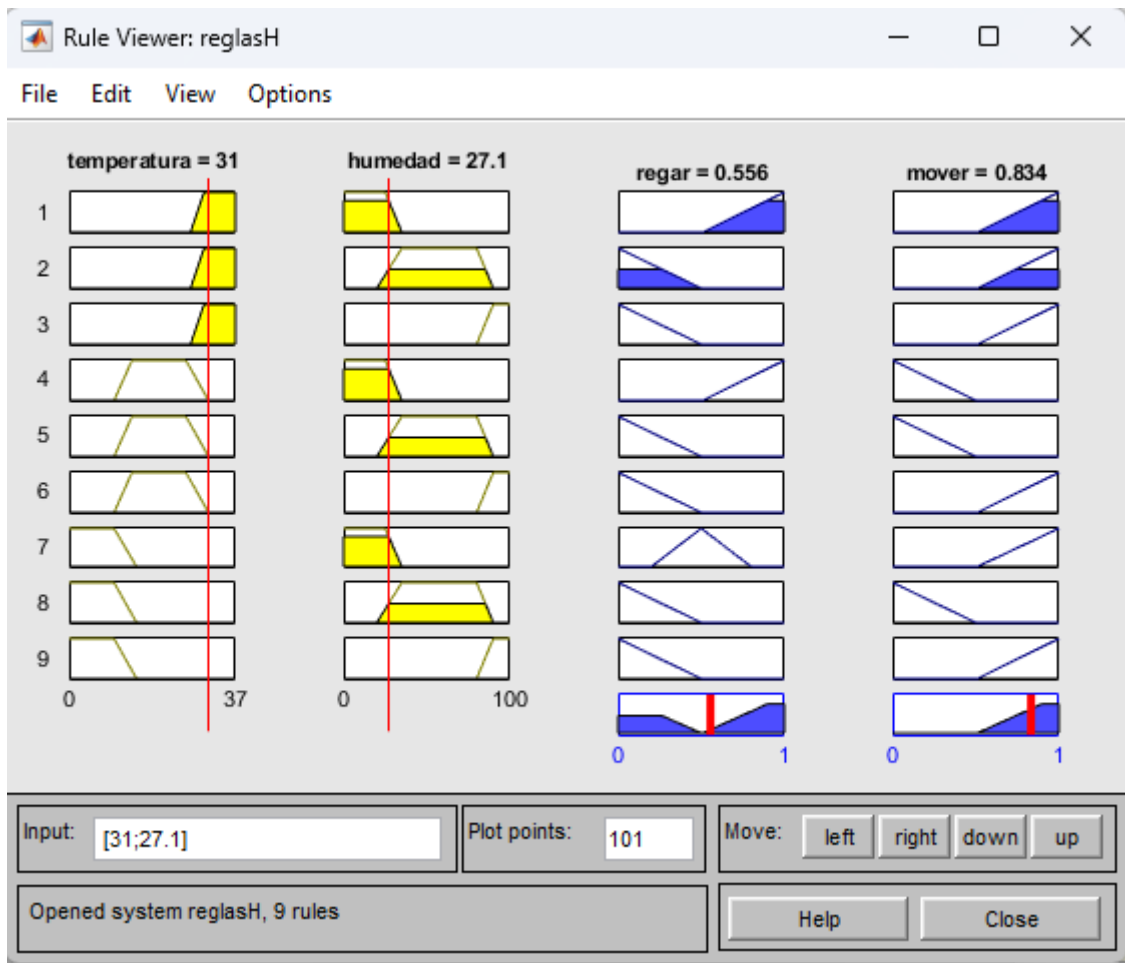


Figura 30. Reglas

Como respuesta a las variables de entradas y salidas se cuenta con la Figura 30 en la que una vez ingresadas las funciones de membresía y se ajusten los rangos de acuerdo con la hortaliza que se requiera monitorear, se obtiene una respuesta numérica, esta respuesta nos indicará si se debe o no realizar alguna acción como las mencionadas anteriormente.

3.5 Evaluación del sistema difuso

En el siguiente diagrama de flujo presentado en la Figura 31 se muestra cómo se realizó la evaluación de las funciones de membresía dadas por las variables de temperatura y humedad.

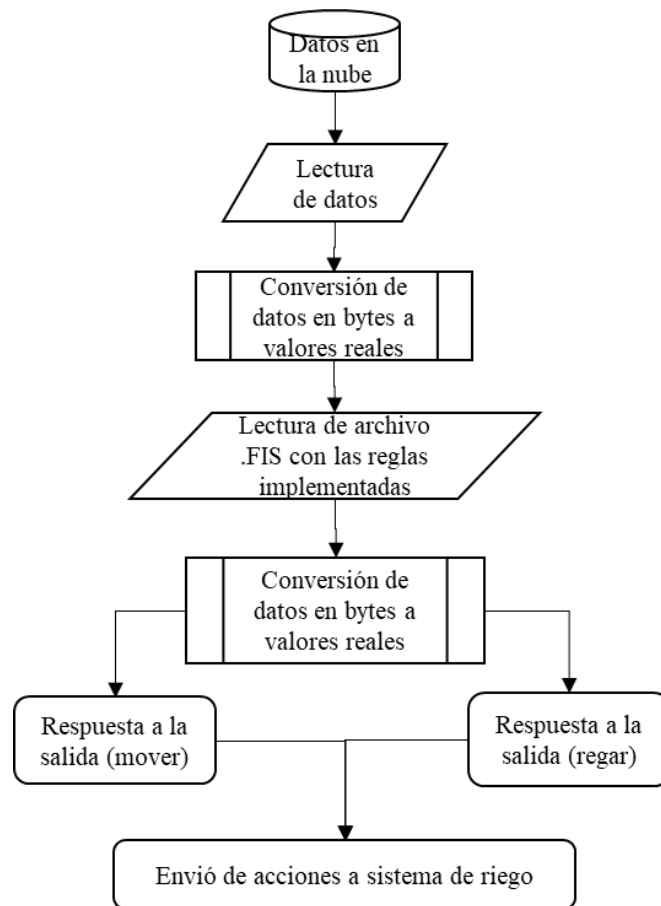


Figura 31. Evaluación de sistema difuso

Una vez integrado el sistema embebido y el sistema difuso experto se ha obtenido el siguiente diagrama prototipo que se muestra en la Figura 32.

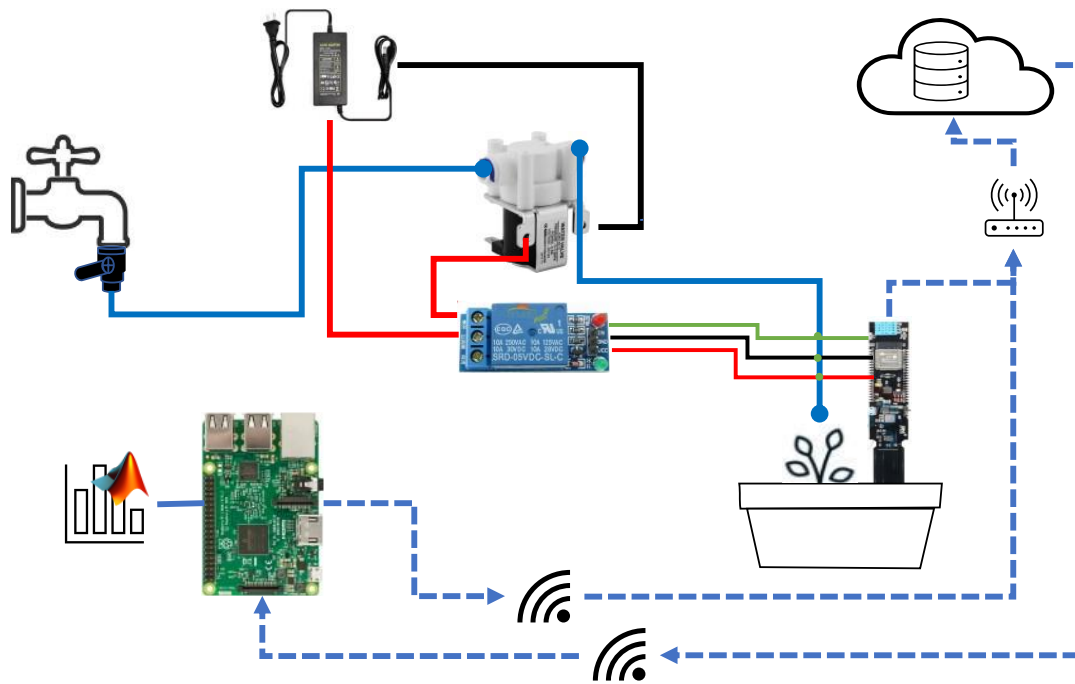


Figura 32. Diagrama de prototipo agregando el sistema experto

3.6 Notificación de mensajes

Dentro del sistema de monitoreo control y riego se implementó el envío de notificaciones, para que así, el usuario pueda tener información de los parámetros de su huerto y poder actuar de forma oportuna en caso de requerirlo.

El envío de notificaciones se produce de dos formas, la primera son notificaciones automatizadas que llegan al usuario alertando de condiciones fuera de los parámetros óptimos que pueden llegar a afectar de manera negativa al huerto, la forma de recibirlos se describe en la Figura 33 del lado derecho y del lado izquierdo corresponde a enviar peticiones programadas mediante la plataforma de telefonía “Telegram” pudiendo conocer datos como la última lectura de temperatura, humedad o luminosidad que se tiene registrado en la base de datos como se describe en la misma figura.

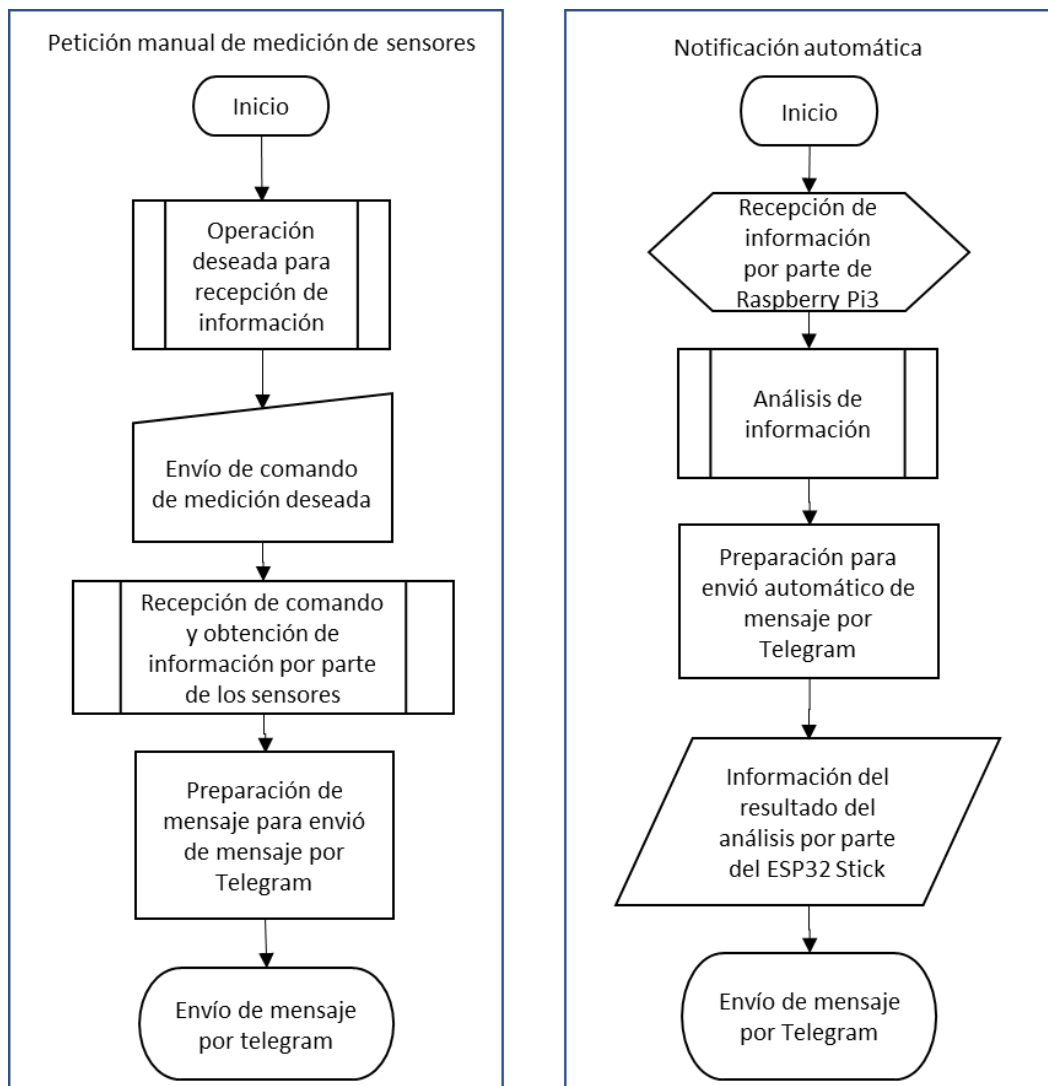


Figura 33. Control de envío de notificaciones

Finalmente, el desarrollo del prototipo se puede observar en la Figura 34 en el que se integraron todas las fases: el sistema embebido, el sistema difuso experto y además se agregó sistema de notificaciones de mensajes cuando los parámetros están fuera del rango óptimo y dañinos para el crecimiento de los cultivos.

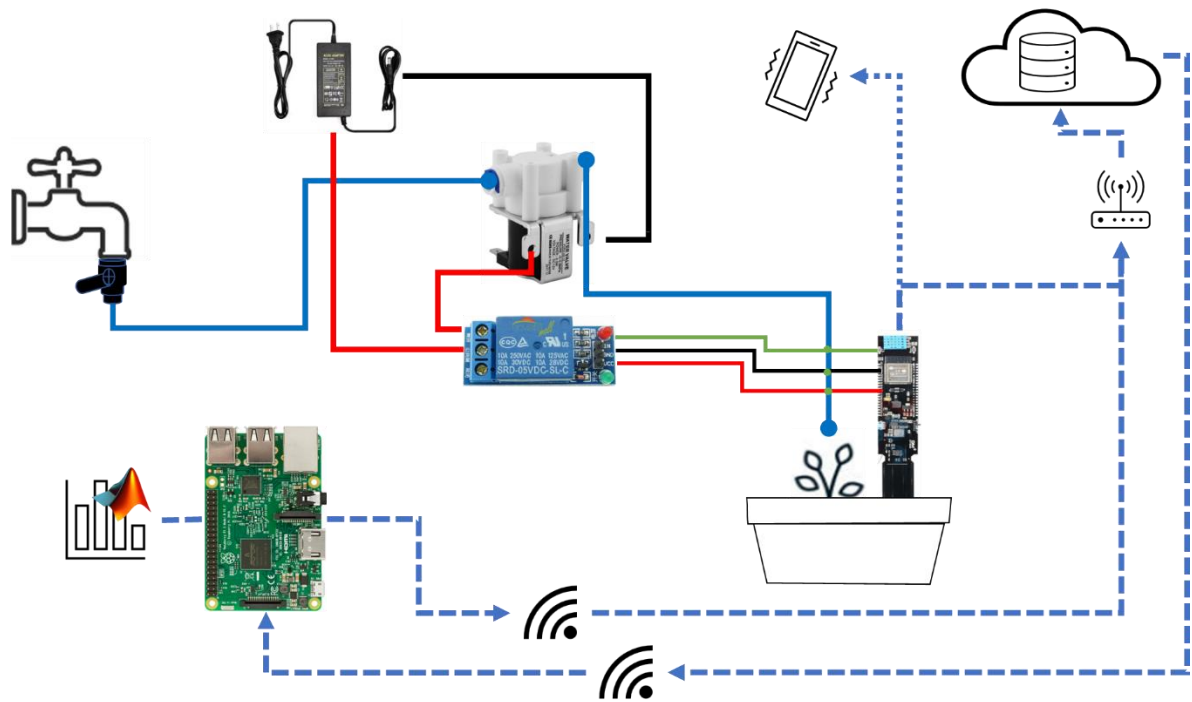


Figura 34. Diagrama de prototipo final.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN

La experimentación se basó en dos prototipos, el prototipo inicial se comenzó con un módulo ESP8266 en el que solo se llegó a la creación del sistema embebido, trabajando con el software y el hardware antes mencionado. Este prototipo se descartó y se continuo con el módulo ESP32 ya que cuenta con la estructura ideal para el objetivo que presenta el proyecto de tesis.

En el segundo prototipo que nació debido a la búsqueda de un módulo con mejores características y rendimiento, para esto se hizo uso del ESP32 tipo “Stick” con integración de sensor de temperatura y humedad al que solo se le agrego el sensor de luminosidad de forma independiente. Posteriormente, para realizar pruebas al prototipo diseñado y creado con el objeto de monitorear las hortalizas, así como para controlar el riego se creó un pequeño huerto en el hogar en el que se cultivó tomate y se implementó en un semillero para después ser trasplantado en una jardinera y controlar el riego.

A continuación, se presentan los componentes utilizados en la realización del prototipo de sistema de monitoreo, control y riego en su parte de hardware.

Primer prototipo

- ESP8266
- Sensor de DHT 11
- Sensor de luminosidad KY-018
- Protoboard
- Cable calibre #22
- Fuente de energía USB

Segundo Prototipo

- ESP32 modulo stick
- Sensor de luminosidad
- Batería 18650
- Carcasa Diseño 3D
- Válvula
- Relevador
- Fuente de poder 12v
- Raspberry Pi 3
- Kit de riego
- Sensor de luminosidad
- Cable calibre #22
- Cable calibre #16

Se experimentó con la placa ESP32, un sensor de temperatura y humedad DHT11 y un sensor de luminosidad sobre un protoboard para comprobar el funcionamiento de los sensores y el envío de datos en tiempo real a la base de datos en el servidor en la nube. En la Figura 35 se muestra la configuración usada. Este prototipo tenía la limitación de sensar los parámetros

cerca de una hortaliza, pero no lo suficientemente cerca para obtener una lectura más precisa, que además se apoyaba con una fuente de alimentación DC para funcionar y por último los componentes sufrieron deterioro ambiental por exponerse a las diferentes temperaturas. Por lo que se buscaron alternativas de sensores que midieran estos parámetros directamente de la hortaliza, es decir sensores que se puedan anclar a la tierra, y su fuente de alimentación fuera por medio de baterías.

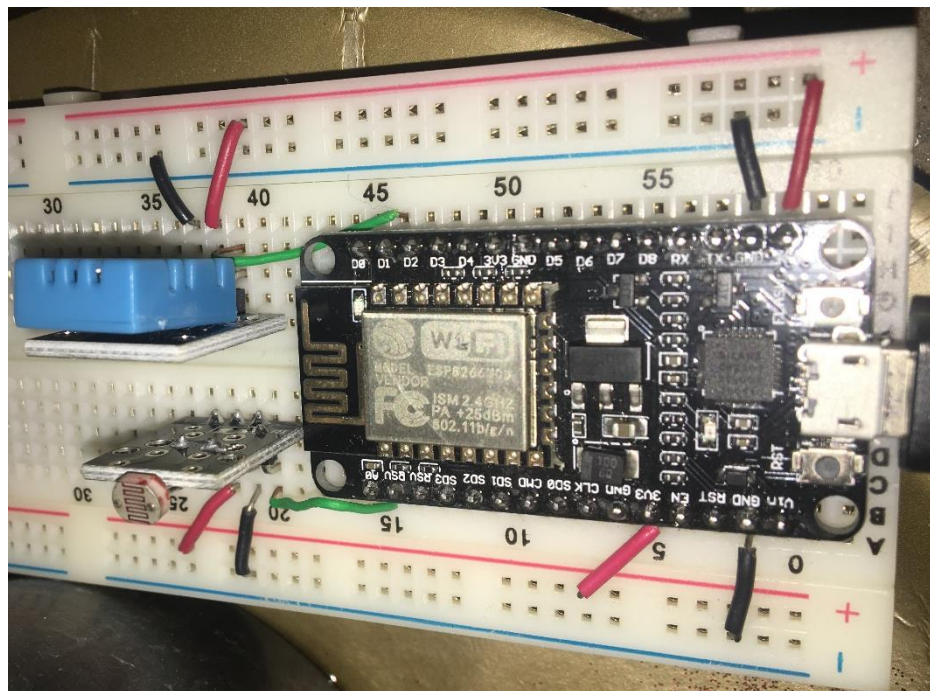


Figura 35. Primer prototipo.

En consecuencia, se logró encontrar un dispositivo capaz de medir los parámetros de temperatura y humedad de la tierra de forma más precisa, este refinamiento se obtuvo con el ESP32 tipo stick, que integra el sensor DHT11 para medir la temperatura y humedad (ver Figura 36) y un soporte de batería, a esto se le agregó el sensor de luminosidad (ver Figura 37) todo esto montado sobre un gabinete impreso en 3D como se muestra en la Figura 38.

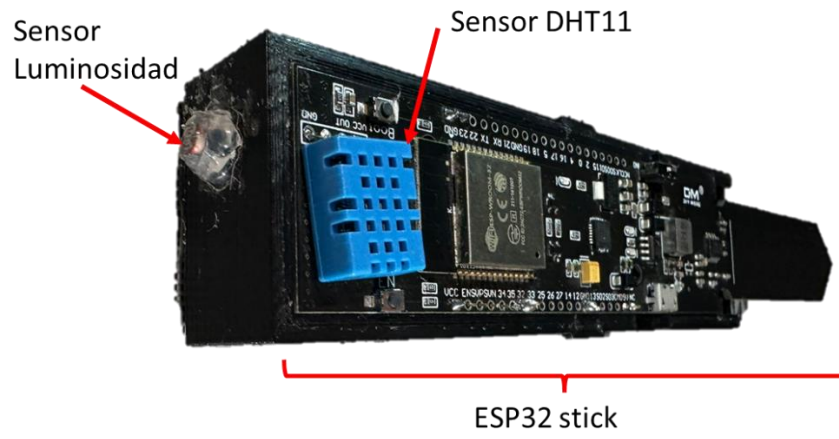


Figura 36. Integración de segundo prototipo.



Figura 37. Gabinete de prototipo

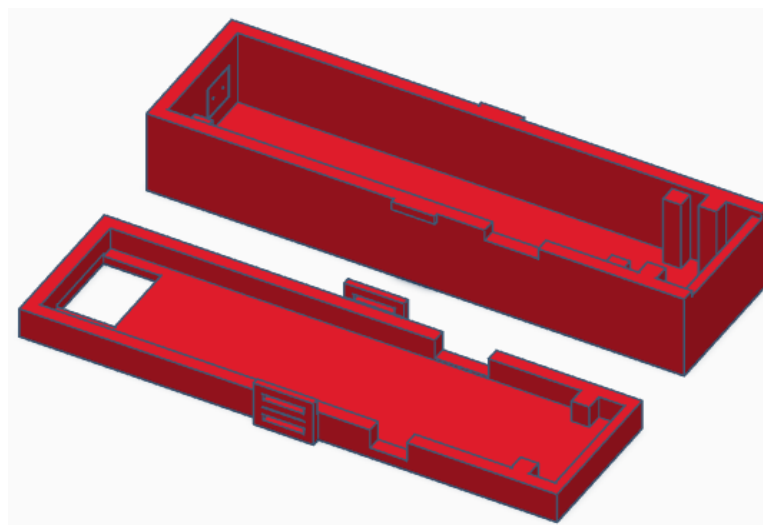


Figura 38. Diseño 3D de gabinete para la placa ESP32 stick.

Plantas cultivadas

Tabla 5. Características de las hortalizas.

Hortaliza	Temperatura	Horas de sol	Riego	Humedad	Frutos
Tomate	17 °C – 30 °C	6-8 horas	Abundante	60 – 80 %	45 – 70 días
Pimiento	16 °C – 26 °C Nocturna 16 °C – 18 °C	6-8 horas	Abundante	70 %	60 – 80 días
Chile	16 °C – 32 °C	6-8 horas	Poco riego	Baja humedad	70 días

La construcción del sistema de riego consistió en una válvula solenoide para agua de 12v y un relevador que envía la señal de abrir y cerrar la válvula que realiza la acción de regar cuando sea requerido, cuenta con una fuente de alimentación de 12v y las mangueras para que circulara el agua desde la llave principal hasta la hortaliza.

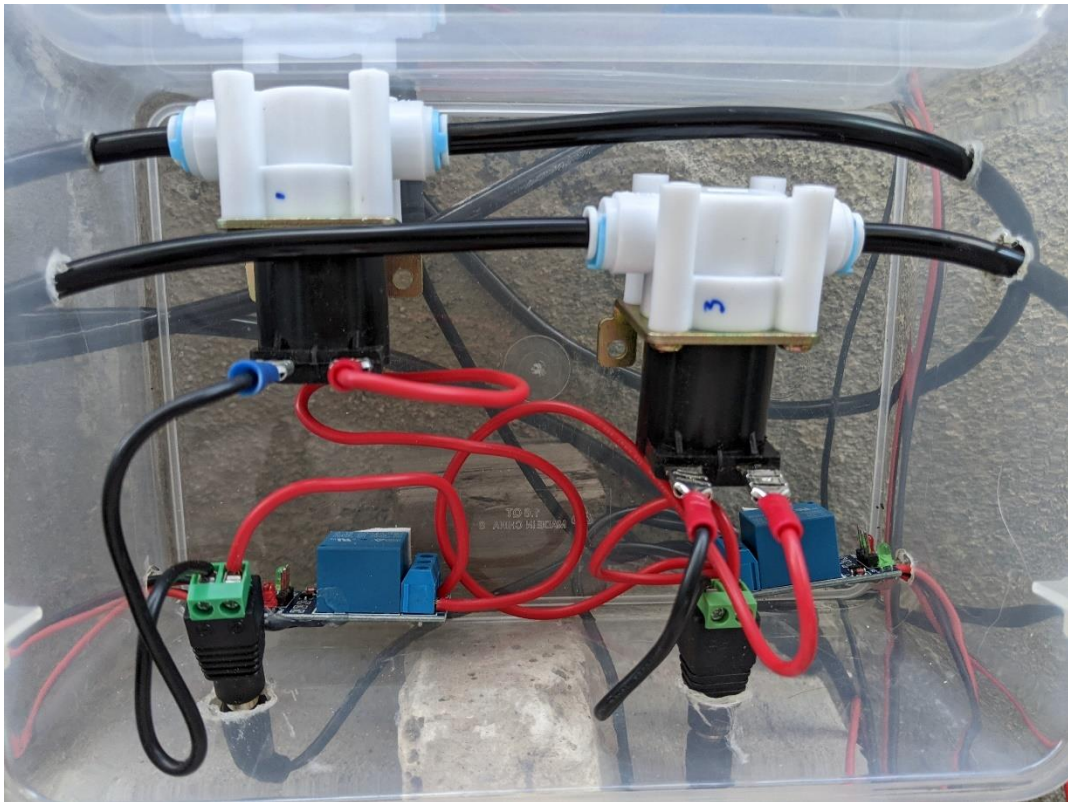


Figura 39. Sistema de riego.

En la Figura 39 se observa la implementación del sistema de riego. Se recurrió a experimentar con 3 plantas para verificar el funcionamiento del sistema, pero se dio prioridad a la hortaliza del tomate en esta primera prueba.

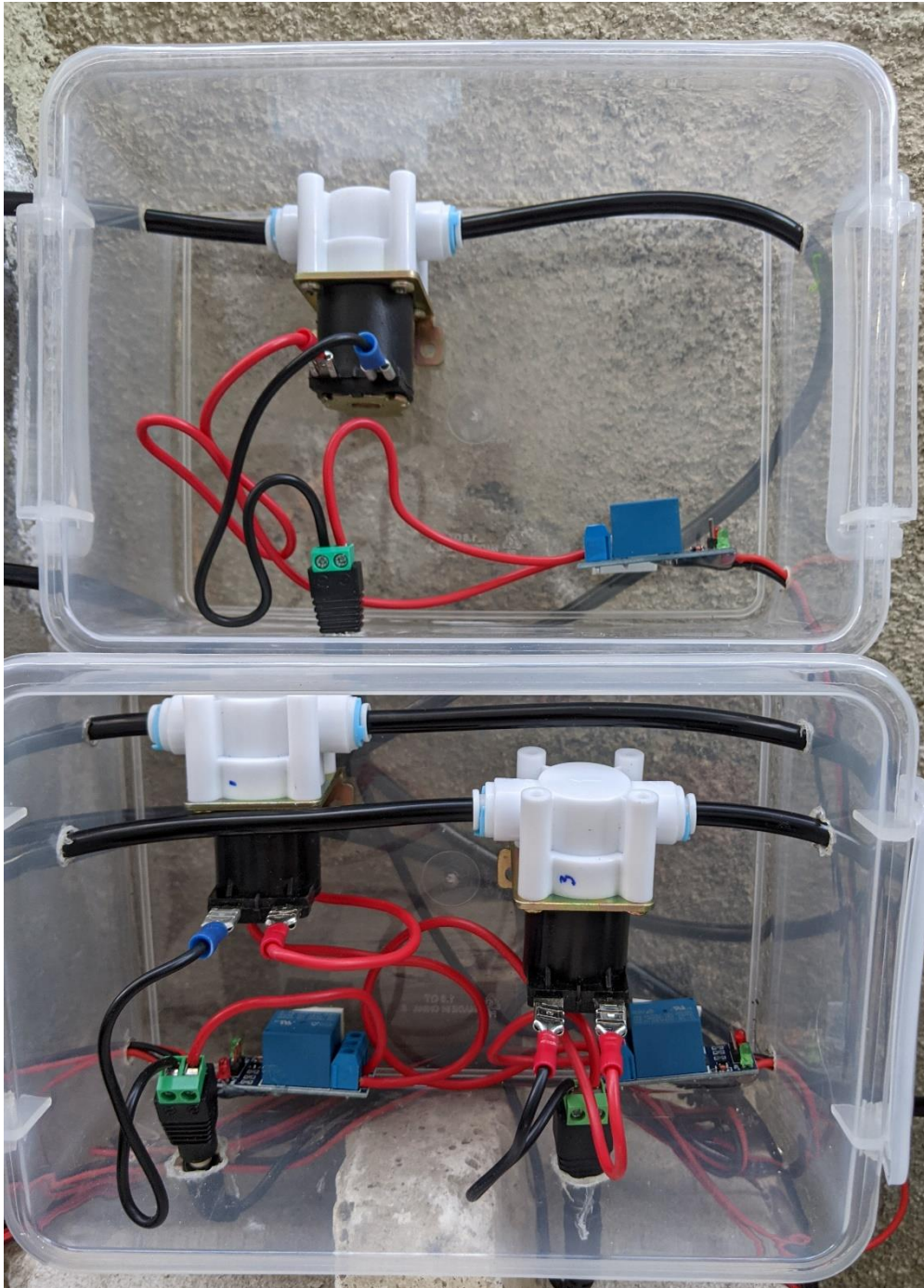


Figura 40. Sistema de riego para 3 hortalizas

En la Figura 41 se muestra cómo se colocó el módulo ESP32 con la integración de sensores, este se colocó en un lugar estratégico para obtener los resultados de la hortaliza con la máxima precisión posible, también se puede observar cómo fueron colocadas las mangueras de agua que son activadas una vez que los sensores envíen información a la nube con apoyo del ESP32 y esta sea evaluada para así poder accionar el riego automático o un envío de una

notificación al usuario alertando de mover su hortaliza en caso de tenerla en maceta o cubrirla para protegerla del sol en caso de que este en un lugar estacionario y si el cultivo se encuentra fuera de los rangos de parámetros permitidos para el sano crecimiento de la hortaliza.



Figura 41. Colocación estratégica de componentes

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

Tomando como referencia la planta del tomate se muestran las siguientes temperaturas, humedad y luminosidad de un día en el que fueron registradas. Analizando el rango de la 1:00 p.m. a las 3:30 p.m., se puede observar que la temperatura aumentó (ver Figura 42) lo cual resulto en la disminución de la humedad (ver Figura 43) y se activó el sistema de riego automático para nivelar y mantener a la hortaliza dentro del rango óptimo, mientras que la luminosidad (ver Figura 44) muestra que la exposición al sol fue de más de 8 horas, por lo que se envió un mensaje automático al usuario mediante Telegram alertando de esta exposición (ver Figura 48 – 52). Con estas horas de sobreexposición la planta no puede llegar a morir, a no ser que todos los parámetros se encuentren en un rango crítico, que significa que todos los parámetros se encuentren fuera de los límites superiores de los rangos.

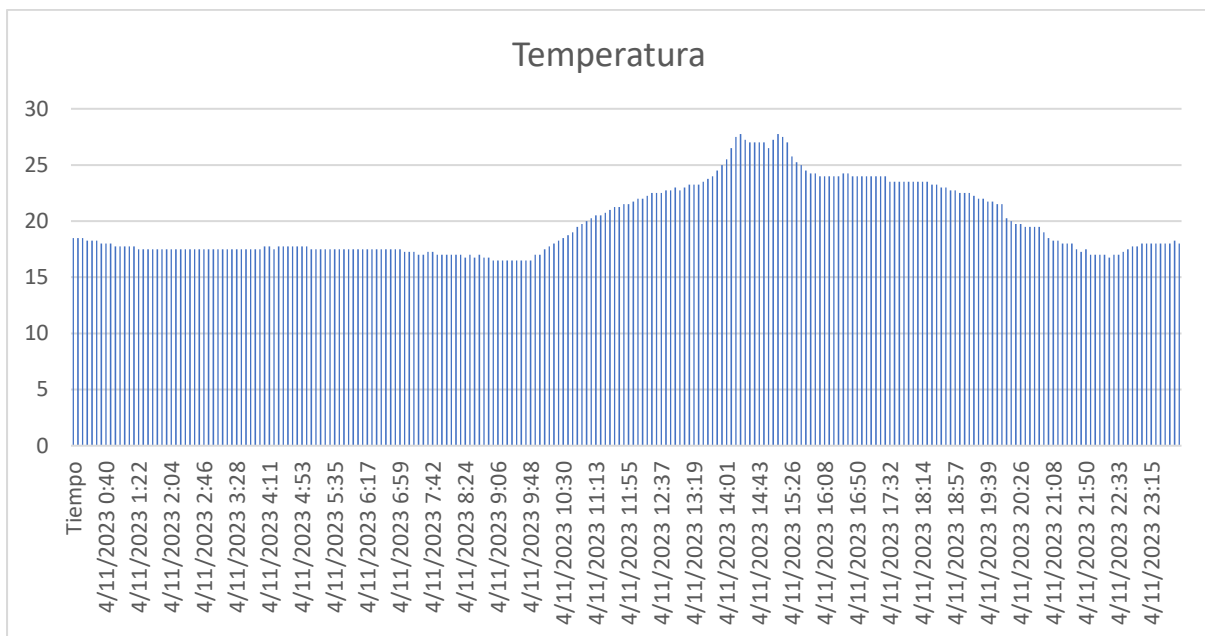


Figura 42. Registro de temperatura

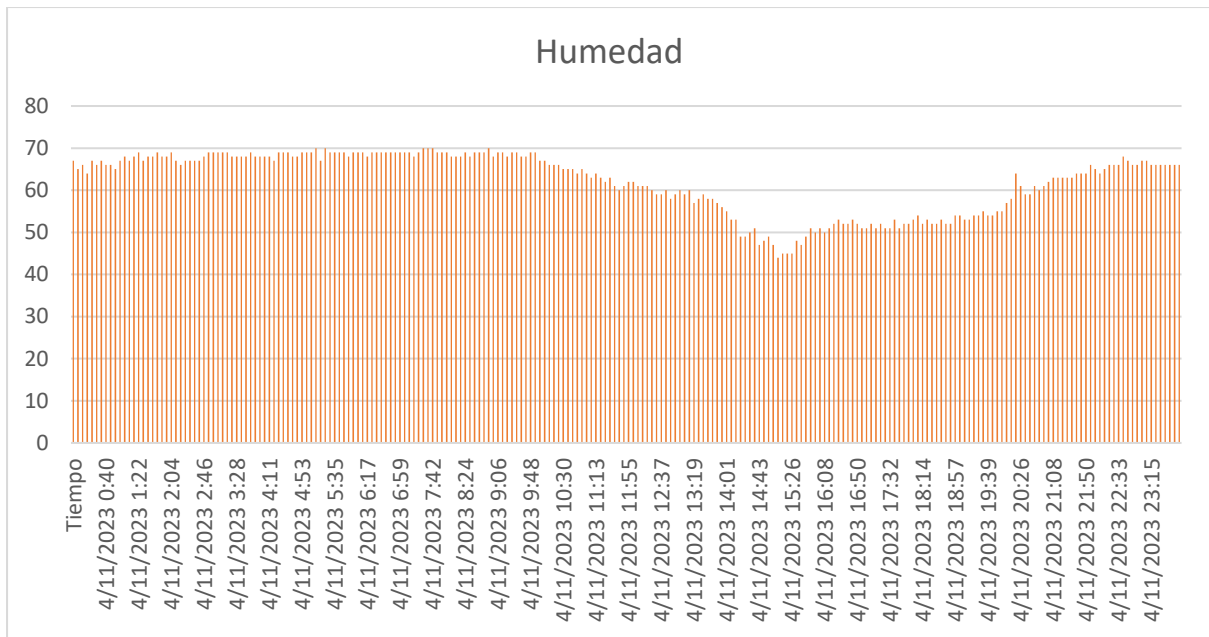


Figura 43. Registro de humedad

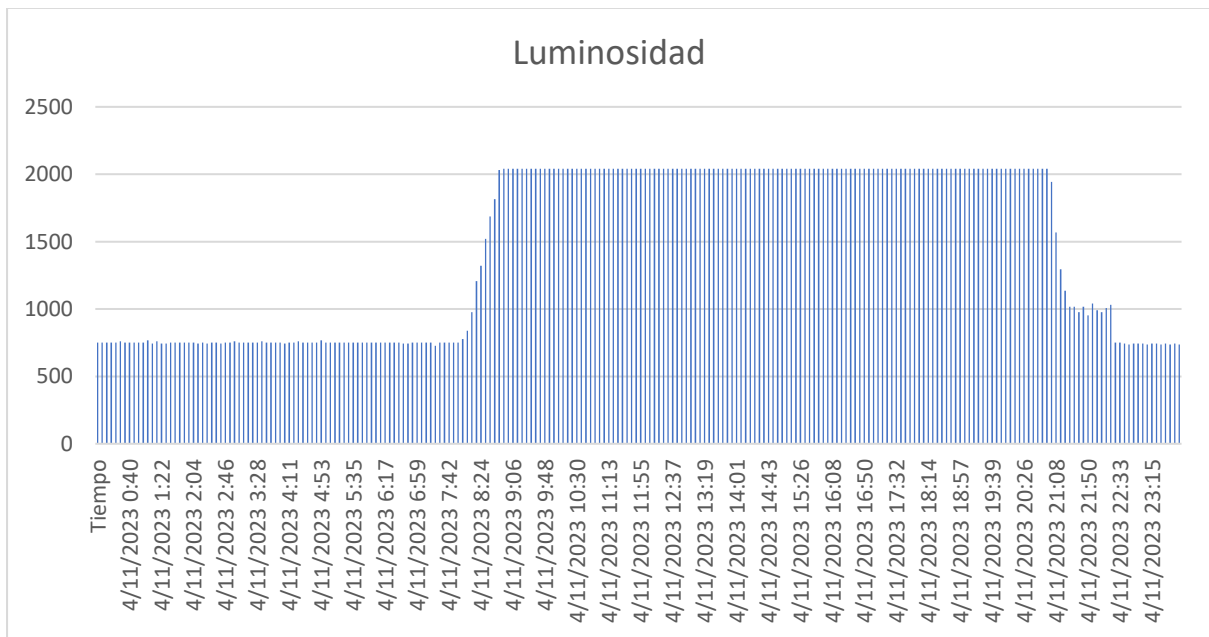


Figura 44. Registro de luminosidad

En la Figura 45 podemos ver el proceso del cultivo del tomate del cual comenzó a cuidarse de forma manual, pero al momento de ser trasplantado se cuidó a través del prototipo del sistema de monitoreo y control.



Figura 45. Proceso de crecimiento del cultivo de la hortaliza, tomate

En la figura 46 se muestra la colocación del prototipo que comenzó a enviar datos, para posteriormente ser tratados y recibir una respuesta ya sea de riego o alerta al usuario.



Figura 46. Prueba de prototipo en la hortaliza tomate.

El prototipo funcional y completo se puede apreciar en la figura 47.

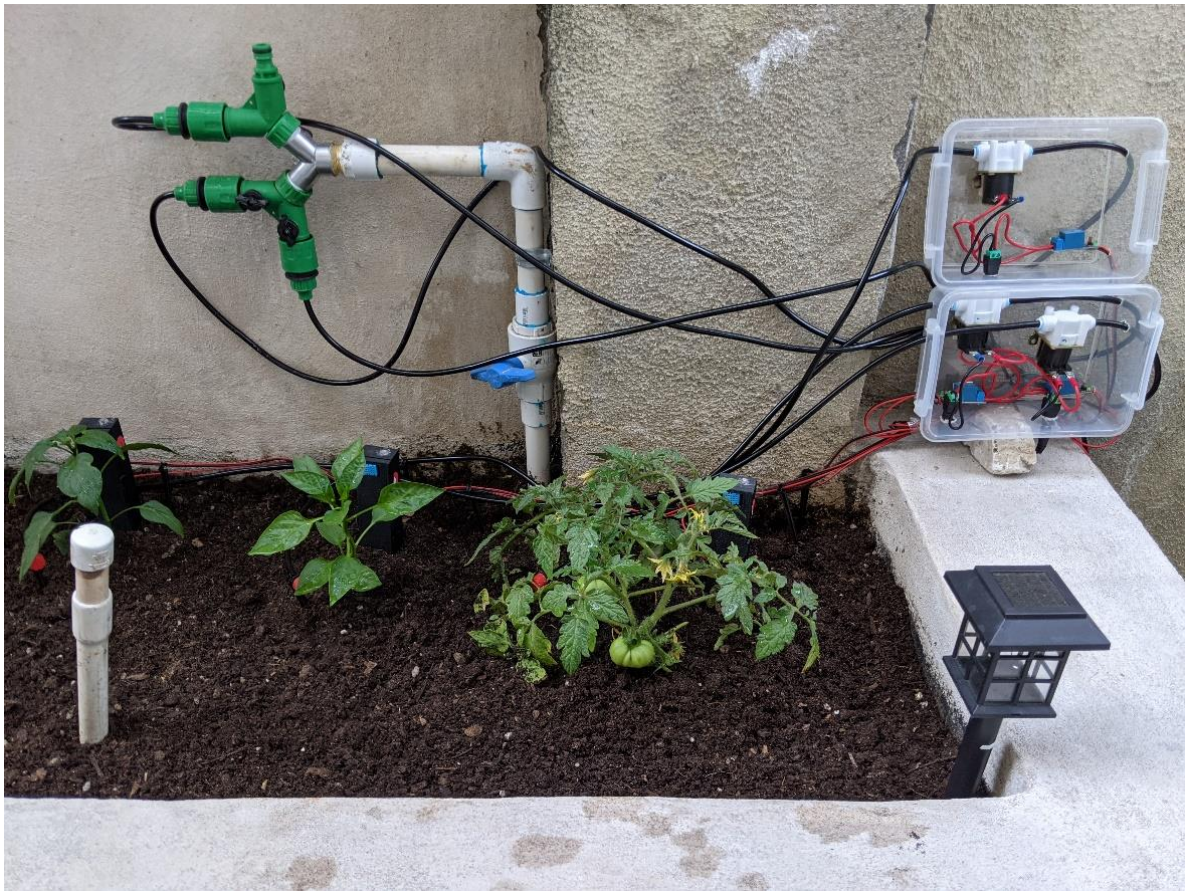


Figura 47. Implementación del prototipo del sistema de monitoreo, control y riego.

Notificación de mensajes

Las dos formas de recibir notificaciones son las siguientes:

Notificaciones automáticas

- Notificación cuando ocurre un evento atípico más allá de los rangos óptimos y altos, esto es, temperaturas muy altas (ver Figura 48).

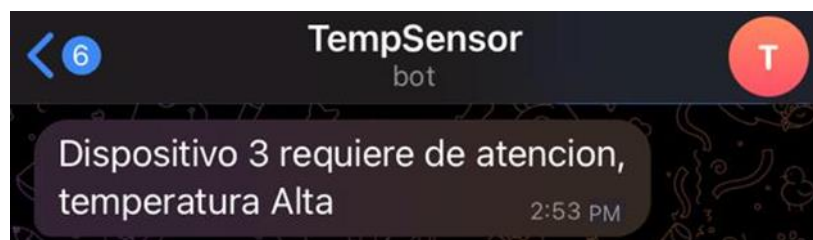


Figura 48. Notificación cuando la temperatura es muy alta.

- Notificación cuando ocurre un evento atípico fuera del rango óptimos y bajo, es decir, temperaturas muy bajas (ver Figura 49).

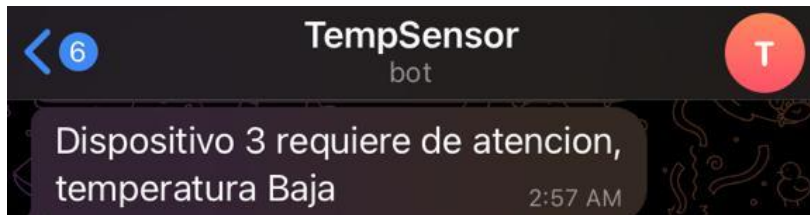


Figura 49. Notificación cuando la temperatura es muy bajas.

- Notificación cuando la planta se expuso a más de 8 horas de exposición solar (ver Figura 50).

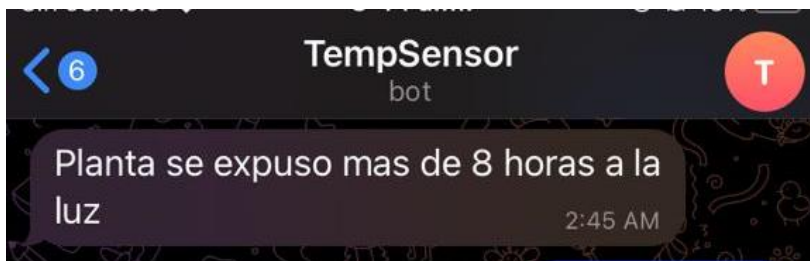


Figura 50. Notificación cuando la planta se ha expuesto más de 8 horas a la luz solar.

Peticiones

Estos mensajes son pedidos por el usuario al bot de Telegram, se comienza ingresando el comando “/start” el cual muestra un menú en el que se puede elegir entre poder visualizar los parametros de temperatura y humedad juntos con el comando “/medicionHuerto” (ver Figura 51) hasta elegir un solo parametro por ejemplo para conocer la temperatura en °C “/sTempC”, para conocer la temperatura en °F “/sTempF”, para conocer la humedad “/sHumedad” (ver Figura 52).



Figura 51. Menú de opciones para mostrar parámetros de plantas de forma manual.



Figura 52. Respuestas a las peticiones por grupo de parámetros e individuales.

CAPÍTULO 6

PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO

Uno de los objetivos de este proyecto es el realizar un sistema de monitoreo y control para el cuidado de las hortalizas con un bajo costo, a continuación, se presenta en la Tabla 6 los costos desglosados de los materiales utilizados en el prototipo

Tabla 6 Costos del presupuesto del prototipo

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total	Referencia
1er Prototipo					
Modulo ESP32	1	ud	\$ 180	\$ 180	[57]
Sensor de DHT 11	1	ud	\$ 56.61	\$ 56.6	[58]
Sensor de luminosidad	1	ud	\$ 35	\$ 35	[43]
Cable calibre #22	0.5	metro	\$ 8	\$ 4	[59]
				\$ 275.6	
2do Prototipo					
ESP32 modulo stick	3	ud	\$ 217	\$ 651	[58]
Batería 18650	3	ud	\$ 129	\$ 387	[60]
Cargador de batería 18650	1	ud	\$ 179	\$ 179	[61]
Válvula solenoide ½ 12V	3	ud	\$ 170	\$ 510	[62]
Relevador	3	ud	\$ 26	\$ 78	[63]
Fuente de poder 12v	1	ud	\$ 249	\$ 249	[64]
Raspberry Pi 3	1	ud	\$ 1700	\$ 1700	[65]
Kit de riego	1	kit	\$ 480	\$ 480	[66]
Cable calibre #22	8	metro	\$ 10	\$ 80	[59]
Cable calibre #16	3	metro	\$ 10	\$ 30	[59]
Gabinete para sistema de control	2	caja	\$ 23	\$ 46	
Gabinete para ESP32	3	ud	\$ 288	\$ 864	
				\$ 5254	

El costo total del proyecto de tesis fue de aproximadamente \$ 5254 MXN para un sistema con 3 prototipos de sensado.

Un solo dispositivo de sensado tendría un costo aproximado de \$ 3500 MXN.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La tecnología hoy en día tiene un gran alcance en diversas áreas y dentro del hogar no puede ser la excepción. Partiendo de la hipótesis “Mediante IoT e IA es posible mantener un huerto en un espacio reducido para autoconsumo reduciendo los recursos requeridos en el proceso de cultivo”, se puede concluir que, si es posible mantener un pequeño huerto para autoconsumo, por lo tanto, se acepta la hipótesis. Esto después de realizar un sistema capaz de sensor y monitorear parámetros significativos como la humedad la temperatura y la luminosidad y así tener la oportunidad de controlar el riego de una hortaliza todo esto optimizado con el uso de sistemas embebidos y la creación de un sistema experto cumpliendo con el objetivo general y los específicos.

Los resultados fueron satisfactorios ya que se logró la aceptación de hipótesis, que engloba el diseño, desarrollo e implementación de una herramienta con la posibilidad de sensor parámetros significativos como la temperatura de las hortalizas, su humedad y cantidad de luz solar que a su vez toma a los parámetros de temperatura y humedad para controlar el riego de las plantas llegando así a la creación de un sistema de monitoreo y control de hortalizas en un huerto funcional para autoconsumo y que este se activa solo si la hortaliza requiere de agua, además se contó con un sistema de alertas para el envío de notificaciones en el que el usuario final sabrá en caso de que sus hortalizas estén bajo condiciones muy altas o muy bajas, de igual importancia se contó con peticiones que el usuario le puede hacer con ayuda de un servicio de mensajería “Telegram” para que este le envíe la respuesta de la temperatura y la humedad de sus plantas de acuerdo a la última medición que se obtuvo.

En resumen, se puede concluir que IoT ha sido un punto de partida y un medio en el cual podemos apoyarnos para desarrollar tecnología con la capacidad de ayudarnos a automatizar y optimizar nuestras actividades diarias y los avances en la tecnología están logrando que estos dispositivos nos ayuden en el ahorro de recursos energéticos y de espacios.

7.1 Trabajo futuro.

Teniendo en cuenta que la tecnología avanza rápidamente y que a ésta se le puede integrar conocimiento de diferentes áreas todavía queda trabajo por realizar, por el área de sistemas embebidos se puede probar con otros módulos, adaptar baterías que soporten más horas de vida, desarrollar en el módulo ESP32 todo el procesamiento dejando a un lado el Raspberry pi.

Por el lado de IA también se puede seguir experimentando al cambiar el sistema experto por redes neuronales, para que el sistema aprenda y se entrene con las mediciones y así automatizar el clima de las plantas desde una aplicación. Otro aporte por parte de la IA sería poder detectar plagas y enfermedades en las hortalizas, comenzando a entrenando un modelo con las plagas y las enfermedades principales.

Por la parte visual del proyecto, se puede crear una interfaz web, Android o IOS para mostrar al usuario el comportamiento en las mediciones de sus hortalizas.

Referencias

- [1] D. JUNESTRAND, STEFAN, PASSARET, XAVIER, VAZQUEZ ALVAREZ, *Domótica y hogar digital*. Ediciones Paraninfo, 2004.
- [2] INEGI, “Censo De Población Y Vivienda 2020 México,” pp. 1–8, 2021, [Online]. Available: <http://censo2020.mx/>.
- [3] INEGI, “Banco de Indicadores,” 2020. [Online]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?t=56&ag=00#divFV10030000016207019042>.
- [4] S. N. Rosas Tableros and I. D. Botello Arredondo, “Adecuación de Áreas Verdes en Casas de Interés Social,” pp. 2327–2332, 2018.
- [5] INEGI, “EN BAJA CALIFORNIA SOMOS 3 769 020 HABITANTES: CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2020,” *Censo Población Y Vivienda 2020*, p. 8, 2021.
- [6] Ana Isabel Mejías Moreno, “Contribución de los huertos urbanos a la salud,” *Hábitat y Soc.*, pp. 85–103, 2013, [Online]. Available: https://institucional.us.es/revistas/habitat/6/HyS_n06a04.pdf.
- [7] J. Rodríguez, R. Díaz, M. Gallardo, G. A. García, and A. Parra, *El huerto: una alternativa de producción familiar*. 2006.
- [8] Diputación de Alicante, *Manual huertos sostenibles en casa*, vol. 02. 2019.
- [9] OPA, *Salud, ambiente y desarrollo sostenible: hacia el futuro que queremos*. 2012.
- [10] K. Lokesh Krishna, O. Silver, W. F. Malende, and K. Anuradha, “Internet of Things application for implementation of smart agriculture system,” *Proc. Int. Conf. IoT Soc. Mobile, Anal. Cloud, I-SMAC 2017*, pp. 54–59, 2017, doi: 10.1109/I-SMAC.2017.8058236.
- [11] A. K. Pandey and M. Chauhan, “IOT Based Smart Polyhouse System using Data Analysis,” *IEEE Int. Conf. Issues Challenges Intell. Comput. Tech. ICICT 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICICT46931.2019.8977665.
- [12] M. S. Hadi, P. Adi Nugraha, I. M. Wirawan, I. Ari Elbaith Zaeni, M. A. Mizar, and M.

- Irvan, "IoT Based Smart Garden Irrigation System," *4th Int. Conf. Vocat. Educ. Training, ICOVET 2020*, pp. 361–365, 2020, doi: 10.1109/ICOVET50258.2020.9230197.
- [13] R. K. Jain, B. Gupta, M. Ansari, and P. P. Ray, "IOT Enabled Smart Drip Irrigation System Using Web/Android Applications," *2020 11th Int. Conf. Comput. Commun. Netw. Technol. ICCCNT 2020*, 2020, doi: 10.1109/ICCCNT49239.2020.9225345.
- [14] N. S. Pezol, R. Adnan, and M. Tajjudin, "Design of an Internet of Things (Iot) Based Smart Irrigation and Fertilization System Using Fuzzy Logic for Chili Plant," *2020 IEEE Int. Conf. Autom. Control Intell. Syst. I2CACIS 2020 - Proc.*, no. June, pp. 69–73, 2020, doi: 10.1109/I2CACIS49202.2020.9140199.
- [15] S. Divulgativa, "Huerto Familiar Integrado SERIE DIVULGATIVA."
- [16] Real Academia Española, "Huerto," *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/huerto>.
- [17] Mundohuerto, "Tipos de huertos," 2023. <https://www.mundohuerto.com/fundamentos/tipos-huertos>.
- [18] OVACEN, "Huerto urbano: 9 Pasos cómo hacer una huerta en casa y terrazas," 2022. <https://ovacen.com/huerto-urbano/>.
- [19] M. N. Halgamuge, A. Bojovschi, P. M. J. Fisher, T. C. Le, S. Adeloju, and S. Murphy, "Internet of Things and autonomous control for vertical cultivation walls towards smart food growing: A review," *Urban For. Urban Green.*, vol. 61, no. June 2020, 2021, doi: 10.1016/j.ufug.2021.127094.
- [20] RAE, "Hidroponía," 2020. <https://dle.rae.es/hidroponía>.
- [21] S. Moctezuma Pérez, "Una aproximación al estudio del sistema agrícola de huertos desde la antropología.," *Cienc. Soc.*, no. 1, pp. 47–69, 2010.
- [22] A. Ata Jaber, "Diseño de un huerto inteligente destinado al autoconsumo," pp. 1–6, 2017.
- [23] A. Acosta, A. Aguilar, and C. Pinzón, "Automatización de Bajo Costo Utilizada en la Producción Agrícola en Invernaderos y Huertos Caseros," *13th LACCEI Annu. Int. Conf. "Engineering Educ. Facing Gd. Challenges, What Are We Doing?,"* no. 13, pp.

- 1–9, 2015, [Online]. Available: <http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/StudentPapers/SP037.pdf>.
- [24] Vida Domótica, “Jardín inteligente.” <https://www.vidadomotica.com/jardin-inteligente/>.
- [25] F. Piccialli, “The Internet of Things supporting the Cultural Heritage domain : analysis , design and implementation of a smart framework enhancing the smartness of cultural spaces Declaration of Authorship,” 2016.
- [26] E. Borgia, “The internet of things vision: Key features, applications and open issues,” *Comput. Commun.*, vol. 54, pp. 1–31, 2014, doi: 10.1016/j.comcom.2014.09.008.
- [27] Oracle, “¿Qué es el IoT?,” 2020. <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot>.
- [28] BASF SE, “Agricultura 4.0 ¿Qué permite el Internet de las cosas en la agricultura?” <https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-iot.html>.
- [29] J. P. Tovar Soto, J. D. los S. Solórzano Suárez, A. Badillo Rodríguez, and G. O. Rodríguez Cainaba, “Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual,” *Lámpsakos*, no. 22, pp. 86–105, 2019, doi: 10.21501/21454086.3253.
- [30] C. Lopez, “La Domótica como solución en el futuro,” *Madrid Ahorr. Energ.*, p. 169, 2007.
- [31] H. J. M. R. J. Millan, *Manual de domotica*. 2010.
- [32] J. Estrada Roque, “Domótica – Vivienda Inteligente,” *Logicbus*, no. 33, pp. 1–4, 2018, [Online]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/domotica-vivienda-inteligente.php>.
- [33] L. F. Herrera Quintero, “Smart (Domotic) houses,” *Ing. e Investig.*, vol. 25, no. 2, pp. 47–52, 2005, doi: 10.15446/ing.investig.v25n2.14639.
- [34] RedHat, “La automatización.” <https://www.redhat.com/es/topics/automation>.
- [35] B. Iñesta Hernández, J. Carlos, G. Cebollada, F. José, and M. Zaldívar, “Desarrollo de un sistema de monitorización y automatización de cultivos,” 2018.
- [36] A. De Sistemas and B. Ú. Miñarro, “Apuntes de: Sistemas embebidos (2009),” 2009.
- [37] E. Vergara Pérez, A. Viuda López, and I. Acuña Galván, “Sistema de monitoreo y

- control semiautomático para la implementación de un huerto urbano comunitario mediante la técnica de organoponía,” *Boletín Científico INVESTIGIUM la Esc. Super. Tizayuca*, vol. Vol. 4 Núm, 2018, [Online]. Available: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/3361/3335>.
- [38] Naylamp Mechatronics SAC, “NODEMCU-32 30-PIN ESP32 WIFI,” 2021. <https://naylampmechatronics.com/expressif-esp/384-nodemcu-32-30-pin-esp32-wifi.html>.
- [39] Naylamp Mechatronics SAC, “NODEMCU V2 ESP8266 WIFI,” 2021. <https://naylampmechatronics.com/expressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>.
- [40] NoMADA, “Módulo Wifi Esp8266 Lua Nodemcu Node Mcu,” 2023. <https://nomada-e.com/store/home/497-modulo-wifi-esp8266-lua-nodemcu-node-mcu.html>.
- [41] Pleva GmbH, “Dht11,” *Melliand Textilberichte*, vol. 76, no. 12, p. 1112, 1995.
- [42] Randomnerdtutorials, “ESP32 with DHT11/DHT22 Temperature and Humidity Sensor using Arduino IDE.” <https://randomnerdtutorials.com/esp32-dht11-dht22-temperature-humidity-sensor-arduino-ide/>.
- [43] makerhero, “Sensor de Luminosidade LDR 5mm,” 2016. <https://www.makerhero.com/produto/sensor-de-luminosidade-ldr-5mm/>.
- [44] Elosciscopio, “Tutorial del sensor de humedad del suelo para Arduino, ESP8266 y ESP32.” <https://elosciscopio.com/tutorial-sensor-humedad-suelo-arduino-esp8266-esp32/>.
- [45] P. T.Thamaraimanalan, “Smart Garden Monitoring System Using IOT,” *AJAST*, 2018.
- [46] S. Z. A. Imteaj, “IoT based Autonomous Percipient Irrigation System using Raspberry Pi,” *IEEE Consum. Electron. Mag.*, 2016.
- [47] O. Mohammed, A. A. Rachida, D. Olivier, and M. Abdelaziz, “An open source and low-cost Smart Auditorium,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 191, no. September, pp. 518–523, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.07.076.
- [48] oracle, “¿Qué es la IA? Conoce la inteligencia artificial.” <https://www.oracle.com/mx/artificial-intelligence/what-is-ai/>.
- [49] DGCS-UNAM, “Inteligencia artificial para huertos urbanos.”

- https://unamglobal.unam.mx/global_revista/inteligencia-artificial-para-huertos-urbanos/.
- [50] O. Castillo and P. Melin, “Hybrid intelligent systems: A survey,” *Appl. Soft Comput. Elsevier*, pp. 23–35, 2002, [Online]. Available: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-37421-3>.
- [51] S. Badaro, L. J. Ibañez, and M. Agüero, “SISTEMAS EXPERTOS: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones,” *Cienc. y Tecnol.*, vol. 1, no. 13, pp. 349–364, 2013, doi: 10.18682/cyt.v1i13.122.
- [52] tutorialspoint, “Fuzzy Logic - Inference System,” 2023. https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_inference_system.htm#.
- [53] M. A. Sanchez, O. Castillo, and J. R. Castro, *Type-2 Fuzzy Granular Models*. Tijuana: Springer, 2016.
- [54] L. H. Salamanca, “Semilleros,” *Biomédica*, vol. 31, no. sup2, p. 113, 2011, doi: 10.7705/biomedica.v31i0.437.
- [55] Mastergis, “Mastergis,” 2023. <https://mastergis.com/programas-profesionales>.
- [56] P. Technical, “KY-018 Photoresistor module Pinout Code example Arduino,” pp. 74–78, 2017.
- [57] Amazon, “Tresd NodeMCU 32 Bluetooth.” <https://www.amazon.com.mx/Tresd-NodeMCU-32-Bluetooth-Compatible-arduino/dp/B08DFKCF6H> (accessed Apr. 05, 2023).
- [58] Aliexpress, “ESP32 DHT11,” 2023. https://es.aliexpress.com/item/1005003192739181.html?spm=a2g0o.detail.1000014.8.6aa639c331QLjl&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.40050.281175.0&scm_id=1007.40050.281175.0&scm-url=1007.40050.281175.0&pvid=c2652f46-f90b-487c-aa89-e0d314ccdd2f&t (accessed May 04, 2023).
- [59] H. Depot, “cable.” <https://www.homedepot.com.mx/> (accessed Feb. 02, 2023).
- [60] Amazon, “STEREN Batería Recargable 18650,” 2023. <https://www.amazon.com.mx/STEREN-Batería-Recargable-Li-Ion->

- Positivo/dp/B0BKH6JZNM/ (accessed May 04, 2023).
- [61] Amazon, “STEREN Cargador Pilas 18650,” 2023. <https://www.amazon.com.mx/STEREN-Cargador-Pilas-Li-Ion-cilíndricas/dp/B08F2VYVVX/> (accessed Apr. 01, 2023).
- [62] Amazon, “Solenoides Eléctricos Magnéticos,” 2023. <https://www.amazon.com.mx/Solenoides-Eléctricos-Magnéticos-Normalmente-Purificadora/dp/B08CR69GJ3/> (accessed Feb. 01, 2023).
- [63] Amazon, “Relevador.” <https://www.amazon.com.mx/Piezas-Modulo-Relevador-Relay-Arduino/dp/B0BBFSX2XW/> (accessed Jan. 04, 2023).
- [64] Amazon, “Eliminador de corriente,” 2023. <https://www.amazon.com.mx/Zen-Eliminador-Transformador-Para-Serie/dp/B09JXZPTJM/> (accessed Mar. 04, 2023).
- [65] Amazon, “Raspberry Pi,” 2023. <https://www.amazon.com.mx/ELEMENT-330ohms-Raspberry-Pi-Modelo/dp/B07PYFH69S> (accessed Feb. 15, 2023).
- [66] Amazon, “kit de riego.” <https://www.amazon.com.mx/automático-ajustable-suministros-hidropónicos-invernadero/dp/B088BK4NRK/> (accessed Apr. 02, 2023).

Apéndice

1. Código en C para ESP32

Preparación de conexión hacia el servidor de base de datos

```
char server[] = "uabc-tj.net"; //servidor
#else
IPAddress server(192, 168, 2, 112);
#endif

uint16_t server_port = 3306; //puerto

char default_database[] = " uabctjne_data"; //base de datos
char default_table[] = "log"; //tabla
```

VARIABLES DE TEMPERATURA, HUMEDAD, LUMINOSIDAD, además de definir el módulo de ESP32 Stick utilizado, el código es independiente para el “N” Numero de ESP32 Sticks que se utilicen, en este caso se identifica con el valor “modulo_value=”, que comprende el rango del 1 al 3.

```
//variables de temperatura, humedad, luminosidad
int temp_value;
float temp_valueF=0;
int hume_value, lumi_value;
int modulo_value = 1;
const int pinLumi = 32;
float temp = 0;
int relePin = 23;
```

Configuración general del módulo ESP32 Stick, donde se conecta a la base de datos, además de conectarse al WiFi

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
  pinMode(relePin, OUTPUT);

  while (!Serial);

  MYSQL_DISPLAY1("\nStarting Basic_Insert_ESP on", ARDUINO_BOARD);
  MYSQL_DISPLAY(MYSQL_MARIADB_GENERIC_VERSION);

  // sección de conexión a WiFi
  MYSQL_DISPLAY1("Connecting to", ssid);

  WiFi.begin(ssid, pass);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```

    delay(500);
    MYSQL_DISPLAY0(".");
}
clienttele.setCACert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT);
// Información sobre la conexión realizada:
MYSQL_DISPLAY1("Connected to network. My IP address is:", WiFi.localIP());

MYSQL_DISPLAY3("Connecting to SQL Server @", server, ", Port =",
server_port);
MYSQL_DISPLAY5("User =", user, ", PW =", password, ", DB =",
default_database);

OTA_init();
}

```

Función de inserción de datos nuevos a la base de datos en la nube, sobre los valores de temperatura, humedad, luminosidad y fecha.

```

void runInsert() {
    String INSERT_SQL = String("INSERT INTO ") + default_database + "." +
default_table
                        + " (temp, hume, Lumi, Modu) VALUES ("
                        + String(temp_value) + ", "
                        + String(hume_value) + ", "
                        + String(lumi_value) + ", "
                        + String(modulo_value)
                        + " )";

    // Iniciar la instancia de la consulta que se realizara
    MySQL_Query query_mem = MySQL_Query(&conn);

    if (conn.connected()) {
        MYSQL_DISPLAY(INSERT_SQL);

        // Ejecutar la consulta
        // Se revisa si la consulta no contiene errores
        if (!query_mem.execute(INSERT_SQL.c_str())) {
            MYSQL_DISPLAY("Error de inserción");
        } else {
            MYSQL_DISPLAY("Datos insertados.");
        }
    } else {
        MYSQL_DISPLAY("Se desconecto del servidor, imposible subir los datos.");
    }
}
}

```

Lectura de los sensores de luminosidad, temperatura y humedad respectivamente.

```

int readSensorLumi() {
    int luminosidad = (analogRead(pinLumi) / 8);
    return luminosidad;
}

```

```

int readSensorTemp() {
  temp = (dht.readTemperature());
  Serial.println(temp);
  return ((temp + 12) * 4);
}

int readSensorHume() {
  return (round(dht.readHumidity())); // 0.0 ... 100
}

```

Código en bucle del ESP32 Stick

Sección para las solicitudes de la aplicación Telegram

```

if (millis() - lastTime > reqTime)
{
  int newMessagesReq = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);

  while (newMessagesReq)
  {
    Serial.println("Respuesta Recibida");
    newMessagesReq = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
  }
  lastTime = millis();
}

```

Sección de lectura de los sensores para revisión rápida en el huerto inteligente según la información de los módulos ESP32 Stick.

```

temp_value = readSensorTemp();
hume_value = readSensorHume();
lumi_value = readSensorLumi();

if (temp_value < 21.0) {
  Serial.println("Temperatura Baja");
  Serial.println(temp_value);
  bot.sendMessage(CHAT_ID, "Dispositivo"+String(modulo_value)+" requiere de atención, temperatura Baja", ""); //Envió de notificación
}

if (temp_value > 27.0) {
  Serial.println("Temperatura Alta");
  Serial.println(temp_value);
  bot.sendMessage(CHAT_ID, "Dispositivo"+String(modulo_value)+" requiere de atención, temperatura Alta", ""); //Envió de notificación
}

if (hume_value < 10) {
  Serial.println("Humedad Baja");
  Serial.println(hume_value);
}

```

```

    bot.sendMessage(CHAT_ID, "Dispositivo"+String(modulo_value)+" requiere
de atención, Humedad Baja", ""); //Envió de notificación
}

if (hume_value > 60) {
    Serial.println("Humedad Alta");
    Serial.println(hume_value);
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "Dispositivo"+String(modulo_value)+" requiere
de atención, Humedad Alta", ""); //Envió de notificación
}

MYSQL_DISPLAY("Connecting...");

if (conn.connectNonBlocking(server, server_port, user, password) !=
RESULT_FAIL) {
    delay(500);
    runInsert();
    conn.close(); // cierre de conexión
} else {
    MYSQL_DISPLAY("\nConnect failed. Trying again on next iteration.");
}
}

```

Sección de recepción de mensajes mediante UDP, proveniente del dispositivo Raspberry pi 3.

```

if (udp.listen(1234)) {

    Serial.print("UDP escuchando en la IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    udp.onPacket([] (AsyncUDPPacket packet) {
        Serial.print("UDP Tipo de paquete: ");
        Serial.print(packet.isBroadcast() ? "Llamada a ": packet.isMulticast()
? "Multillamada": "Unillamada");
        Serial.print(", De: ");
        Serial.print(packet.remoteIP());
        Serial.print(":");
        Serial.print(packet.remotePort());
        Serial.print(", A: ");
        Serial.print(packet.localIP());
        Serial.print(":");
        Serial.print(packet.localPort());
        Serial.print(", Longitud: ");
        Serial.print(packet.length());
        Serial.print(", Datos: ");
        Serial.write(packet.data(), packet.length());
        String var_entrada = String((char*)packet.data());

        for (int i = 0; i < 3; i++) {
            if (var_entrada == "Mover") {
                bot.sendMessage(CHAT_ID, "Dispositivo"+String(modulo_value)+"
requiere de recolocación, Luz directa Alta", ""); //Envió de notificación
mover
            }
            if (var_entrada == "NoMover") {
                bot.sendMessage(CHAT_ID, "Dispositivo"+String(modulo_value)+" no
requiere de recolocación", ""); //Envió de notificación mover
            }
            if (var_entrada == "Muchaluz") {

```

```

        bot.sendMessage(CHAT_ID, "Planta se expuso más de 6 horas a la
luz", ""); //Envió de notificación mover
    }
    if (var_entrada == "0") {
        digitalWrite(relePin, LOW); //Encendido de riego
        delay(1000);
    } else
        digitalWrite(relePin, HIGH); //Apagado de riego
    }
    Serial.println();
    packet.printf("Got %u bytes of data", packet.length());
});
}

delay(360000);
}

```

2. Código en Python 3 para Raspberry pi 3

Lectura del archivo FIS con las reglas personalizadas de FuzzyLogic

```
fis = fl.readfis('reglasH.fis')
```

Conexión a la base de datos

```

try:
    conn = mariadb.connect(
        user="user",
        password="password",
        host="uabc-tj.net",
        port=3306,
        database="uabctjne_data"
    )
except mariadb.Error as e:
    print(f"Error connecting to MariaDB Platform: {e}")
    sys.exit(1)

```

Obtención de información de la base de datos e iterando los resultados en arreglos.

```

#Creacion de cursores
cursor = conn.cursor()
cursor3 = conn.cursor()

#ejecucion de consulta para obtener el promedio de iluminacion del día
cursor3.execute('select  if(count(distinct(DATE_FORMAT(Time,"%H")))>6, "Mayor",
"Menor") as res from log where Modu = 3 and DATE_FORMAT(Time,"%d")=DAY(NOW()) and
DATE_FORMAT(Time,"%m")= MONTH(NOW()) and DATE_FORMAT(Time,"%Y")= YEAR(NOW()) order
by Time desc;')
result2 = cursor3.fetchall()
countiluminacion = [y[0] for y in result2] #Iteracion del promedio de iluminacion
del día
resilum=bytes("Menor",'utf-8') #Conversion a Bytes

```

```

if (countiluminacion[0]=="Mayor"):#Si el total de horas de iluminación es mayor a
6 horas se envia el valor "Mayor"
    resilum=bytes("Muchaluz",'utf-8')

#consulta para obtener los valores del módulo 3, esta consulta se repite para el
módulo 2 y el módulo 1 modificando la condicional "Modu" equitativo al módulo
deseado
cursor.execute("SELECT Time,Temp,Hume,Lumi,Modu FROM log where Modu = 3 order by
Time desc limit 1")

result = cursor.fetchall()

#agregando a variables los resultados de cada valor obtenido
fecha = [i[0] for i in result]
temperatura = [i[1] for i in result]
humedad = [i[2] for i in result]
luminocidad = [i[3] for i in result]
modulo = [i[4] for i in result]

```

Agregando los valores de temperatura y humedad al objeto del archivo FIS para obtener el arreglo evaluado

```

output = fl.evalfis(fis, [(temperatura[0]*.25)-12, humedad[0]]) #

```

Condicionales de evaluación de acciones que se enviarán al ESP para el comportamiento del huerto inteligente, estas condiciones se establecen en las reglas creadas en el sistema difuso en MatLab

```

if (v1>=0 and v1<=0.1) and (v2 >=0.0 and v2 <=0.1):#No regar y no mover
elif (v1>=0 and v1<=1) and (v2 >=0.0 and v2 <=0.1):#Regar poco y no mover
elif (v1>=0.9 and v1<=1) and (v2 >=0.0 and v2 <=0.1):#Regar mucho y no mover
elif (v1>=0.0 and v1<=0.1) and (v2 >=0.9 and v2 <=1):#No regar y mover
elif (v1>=0 and v1<=1) and (v2 >=0.9 and v2 <=1):#Regar poco y mover
elif (v1>=0.9 and v1<=1) and (v2 >=0.9 and v2 <=1):#Regar mucho y mover

```

Dependiendo de los resultados de la evaluación se enviarán los respectivos mensajes por el protocolo UDP al dispositivo ESP32 stick

```

#enviar el resultado por UDP, ejemplo de "No regar y no mover"
MESSAGE = b"1" #No regar
MESSAGE2 = b"No mover" #No mover
print("UDP target IP: %s" % UDP_IP)
print("UDP target port: %s" % UDP_PORT)
print("regar: %s" % MESSAGE)
print("mover: %s" % MESSAGE2)
print("luminocidad: %s" % resilum)
sock = socket.socket(socket.AF_INET,socket.SOCK_DGRAM) #Envío de
mensajes al ESP32
sock.sendto(MESSAGE, (UDP_IP, UDP_PORT))
sock.sendto(MESSAGE2, (UDP_IP, UDP_PORT))
sock.sendto(resilum, (UDP_IP, UDP_PORT))

conn.close(); #Cierre de la conexión a la base de datos

```

3. Archivo FIS

```
[System]
Name='reglasH'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=2
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='temperatura'
Range=[0 37]
NumMFs=3
MF1='bajo':'trapmf',[0 0 10 15]
MF2='optimo':'trapmf',[10 14 26 31]
MF3='alto':'trapmf',[27 30 37 37]

[Input2]
Name='humedad'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='seco':'trapmf',[0 0 25 35]
MF2='optimo':'trapmf',[20 35 80 90]
MF3='saturado':'trapmf',[80 90 100 100]

[Output1]
Name='regar'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='no-regar':'trimf',[0 0 0.5]
MF2='regar':'trimf',[0.2 0.5 0.8]
MF3='regarMucho':'trimf',[0.51 1 1]

[Output2]
Name='mover'
Range=[0 1]
NumMFs=2
MF1='noMover':'trimf',[0 0 0.5]
MF2='mover':'trimf',[0.51 1 1]
```

```
[Rules]
```

```
3 1, 3 2 (1) : 1
```

```
3 2, 1 2 (1) : 1
```

```
3 3, 1 2 (1) : 1
```

```
2 1, 3 1 (1) : 1
```

```
2 2, 1 1 (1) : 1
```

```
2 3, 1 2 (1) : 1
```

```
1 1, 2 2 (1) : 1
```

```
1 2, 1 1 (1) : 1
```

```
1 3, 1 2 (1) : 1
```

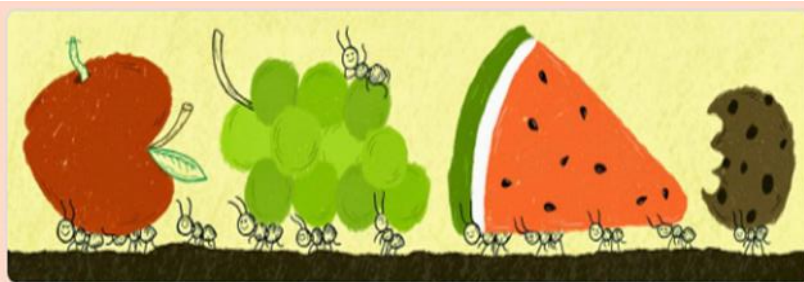
4. Tarea Programada

Este archivo evalúa y ejecuta el sistema de riego cada 30 minutos.

```
Archivo tareaPrograma.sh
```

```
*/30 * * * * /home/leticia/Desktop/proyecto/evaluacionFIS.py
```

Anexo



Alimentos que consume comúnmente.

El objetivo de esta encuesta es conocer cuales son las hortalizas que mas consumen.

Seleccione al menos 5 hortalizas que mas consume en su hogar: *

- Calabaza
- Pepino
- Pimientos
- Tomates
- Espinacas
- Ajo
- Chile
- Cebolla
- Lechuga
- Betabel
- Albahaca
- Perejil

Si pudiera cultivar sus propias hortalizas , ¿cuales serían las hortalizas que cosecharían? Mencione al menos 3 *

- Calabaza
- Pepino
- Pimientos
- Tomates
- Espinacas
- Ajo
- Chile
- Cebolla
- Lechuga
- Betabel
- Albahaca
- Perejil