



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TEMA:

“SISTEMA INTELIGENTE PARA EL CULTIVO DE PLANTAS
MEDICINALES BAJO CONDICIONES INDOOR EN EL CANTÓN
ANTONIO ANTE, MEDIANTE EL USO WSN Y TÉCNICAS DE IA”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Desarrollo, aplicación de software, Innovación Tecnológica y de Productos

AUTOR:

Gabriela Stefanía Caragulla Briceño

DIRECTOR:

Ing. Suárez Zambrano Luis Edilberto, Msc

Ibarra, 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1722699350		
APELLIDOS Y NOMBRES:	CARAGULLA BRICEÑO GABRIELA STEFANIA		
DIRECCIÓN:	Atuntaqui, Barrio Sto. Domingo, calle Los Laureles y Geranios		
EMAIL:	gscaragullab@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062617201	TELF. MOVIL	0987265437

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“SISTEMA INTELIGENTE PARA EL CULTIVO DE PLANTAS MEDICINALES BAJO CONDICIONES INDOOR EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE, MEDIANTE EL USO WSN Y TÉCNICAS DE IA”
AUTOR (ES):	GABRIELA STEFANIA CARAGULLA BRICEÑO
FECHA:	21/07/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR:	ING. SUÁREZ ZAMBRANO LUIS EDILBERTO, MSC
ASESOR:	ING. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA, MSC

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Gabriela Stefanía Caragulla Briceño, con cédula de identidad Nro. 1722699350, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 21 días del mes de Julio de 2025

EL AUTOR:



.....

Caragulla Briceño Gabriela Stefanía

CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 21 días del mes de julio de 2025

EL AUTOR:


.....
Caragulla Briceño Gabriela Stefania

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 21 de Julio de 2025

ING. SUÁREZ ZAMBRANO LUIS EDILBERTO, MSC
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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



.....
Ing. Suárez Zambrano Luis Edilberto, Msc
C.C.: 1002304291

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Sistema inteligente para el cultivo de plantas medicinales bajo condiciones indoor en el cantón Antonio Ante, mediante el uso WSN y técnicas de IA” elaborado por Gabriela Stefanía Caragulla Briceño, previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....
Ing. Suárez Zambrano Luis Edilberto, Msc
C.C.: 1002304291



.....
Ing. Vásquez Ayala Carlos Alberto, Msc
C.C.: 1002424982

DEDICATORIA

A mi ángel, mi padre Jorge Caragulla, aunque ya no estés en este mundo, sigues guiando cada paso que doy. Te debo el ejemplo de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Este logro es también tuyo, y sé que, donde estés, lo celebras conmigo. Tu memoria vive en mí y tu legado será siempre mi inspiración

A mi querida madre Norma Briceño, por ser la luz que nunca se apagó, incluso cuando todo parecía oscurecerse. Por caminar conmigo con fuerza, aunque muchas veces el peso haya sido solo tuyo. Por tus silencios llenos de amor, por tus sacrificios y por enseñarme, sin palabras, que la verdadera valentía es seguir adelante a pesar de los obstáculos.

A mis hermanas Simone y Anahí, por ser mi inspiración constante y mi impulso cuando más lo necesitaba. Por creer en mí en cada paso, por acompañarme en cada idea, cada intento, cada locura. Ser su ejemplo es un honor que llevaré siempre en mi corazón, porque quiero que vean en mí que los sueños no solo se imaginan, sino que se construyen con valentía y amor.

A mis tías, por ser mi refugio y sostén en cada paso de este camino. Gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por recordarme siempre que soy capaz de llegar lejos. Su fe en mí ha sido fuerza, guía y esperanza.

*A quienes fueron refugio y tormenta, ternura y desvelo, deseo y vacío, principio y final.
A quienes un día decidieron tomar caminos distintos, aunque dejaron huellas imborrables en
mi historia. Como dijo mi poeta favorita, “part of growing up is knowing what to hold on to
and what to let go.” And finally...*

We did it baby...

Gabriela Stefania Caragulla Briceño

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la serenidad necesarias para atravesar esta etapa de mi vida. Por acompañarme en los momentos de incertidumbre, por sostenerme cuando dudé, y por darme la luz para seguir adelante cada día.

A mis padres, por ser la base de todo lo que soy. Gracias por su amor constante, su apoyo incondicional y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la humildad y la perseverancia. Este logro es tan mío como suyo, y siempre llevaré en mi camino lo que aprendí de ustedes.

Expreso mi más sincera gratitud a la Universidad Técnica del Norte por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional dentro de sus aulas, permitiéndome crecer tanto académica como personalmente. De manera especial, agradezco al Msc. Luis Suárez, por su paciencia, orientación y compromiso, cualidades que han sido para mí un verdadero ejemplo en este proceso. Su guía fue fundamental para la culminación de este proyecto.

Al Msc. Carlos Vásquez, por sus enseñanzas tanto profesionales como éticas; gracias por recordarme que la responsabilidad siempre debe estar por encima de cualquier circunstancia. Y al Msc. Jaime Michilena, por su constante disposición, su paciencia y por brindarnos apoyo en los momentos en que más lo necesitamos.

A esas personas especiales que conocí a lo largo de mi vida universitaria, quienes hicieron que cada momento fuese más ameno y significativo: Diego, Mateo, Bryan, y en especial a mi mejor amiga Sheyla L, gracias por no rendirte nunca con tu amistad, por estar siempre presente y pendiente de mí, incluso cuando por distintas razones me ausenté. A todos mis compañeros de aula, gracias por cada experiencia compartida; me llevo gratos recuerdos que perdurarán más allá de esta etapa.

Gabriela Stefania Caragulla Briceño

RESUMEN

Esta investigación desarrolla un sistema inteligente para el cultivo de plantas medicinales bajo condiciones indoor, enfocado en las especies de albahaca (*Ocimum basilicum*) y orégano (*Origanum vulgare*), en el cantón Antonio Ante. El objetivo principal fue implementar una solución tecnológica que permita optimizar las condiciones de cultivo mediante el uso de redes de sensores inalámbricos (WSN) e inteligencia artificial, mejorando así la productividad, el estado sanitario de las plantas y el control ambiental. El sistema incluye sensores ambientales calibrados para monitorear temperatura, humedad, luminosidad, calidad del aire, humedad del suelo y calidad del agua, cuyos datos se procesan a través de un algoritmo Random Forest que predice el estado del cultivo y estima el crecimiento.

Se diseñaron e implementaron nodos de monitoreo, un nodo central de procesamiento y una aplicación móvil para visualización y notificaciones. El sistema fue validado mediante la comparación con cultivos tradicionales, evidenciando ventajas en términos de control fitosanitario, supervivencia de plantas y calidad morfológica. Se demostró que variables como la luminosidad influyen significativamente en el desarrollo vegetal, destacando la iluminación tipo fucsia como la más adecuada para estimular la fotosíntesis, frondosidad y coloración. Además, el sistema logró una tasa de predicción de estado superior al 98 % gracias al proceso de depuración de datos.

Los resultados indican que la propuesta es una alternativa viable y replicable para cultivos medicinales en espacios urbanos reducidos, promoviendo una agricultura más sostenible, precisa y controlada mediante el uso de tecnologías emergentes.

Palabras clave:

Cultivo indoor, plantas medicinales, albahaca, orégano, sensores ambientales, inteligencia artificial, Random Forest, agricultura de precisión, Internet de las Cosas, WSN.

ABSTRACT

This research presents the development of an intelligent system for the indoor cultivation of medicinal plants, specifically basil (*Ocimum basilicum*) and oregano (*Origanum vulgare*), in the Antonio Ante canton. The main objective was to implement a technological solution to optimize growing conditions through the use of Wireless Sensor Networks (WSN) and Artificial Intelligence (AI), enhancing plant productivity, health status, and environmental control. The system integrates calibrated environmental sensors to monitor temperature, humidity, light intensity, air and water quality, and soil moisture. These data are processed by a Random Forest algorithm, which predicts crop condition and estimates plant growth.

Monitoring nodes, a central processing unit, and a mobile application for visualization and real-time alerts were developed. The system was validated through comparison with traditional cultivation methods, showing clear advantages in phytosanitary control, plant survival, and morphological quality. Results confirmed that light intensity is one of the most influential variables in plant development, with fuchsia lighting providing optimal stimulation for photosynthesis, foliage density, and leaf coloration. The model achieved a prediction accuracy of over 98%, supported by a thorough data cleaning process.

This project demonstrates a viable and replicable alternative for growing medicinal plants in limited urban spaces, promoting a more sustainable, precise, and controlled agriculture through the integration of emerging technologies.

Keywords:

Indoor cultivation, medicinal plants, basil, oregano, environmental sensors, artificial intelligence, Random Forest, precision agriculture, Internet of Things, WSN.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo I: Antecedentes	19
1.1. Tema	19
1.2. Problema	19
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos Específicos.....	21
1.4. Alcance	22
1.5. Justificación	24
Capítulo II: MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Introducción	26
2.1.1. Agricultura tradicional	26
2.1.2. Agricultura de Precisión	26
2.1.2.1. Técnicas de Agricultura de Precisión	27
2.1.2.2. Fases de la Agricultura de Precisión.....	28
2.2. Micro Granjas	29
2.2.1. Sistema Indoor	29
2.2.1.1. Técnicas de cultivo en Sistemas Indoor.....	30
2.2.2. Componentes de cultivos Indoor	30
1.3. Cultivos Medicinales	31
2.3.1 Cultivo de Albahaca.....	31

2.3.1.1 Tipos de Albahaca.....	31
2.3.2 Cultivo de Orégano	34
2.3.2.1. Tipos de Orégano	34
2.3.3. Valor Nutricional de la Albahaca y Orégano.....	36
2.3.4. Enfermedades que trata la Albahaca y Orégano.....	37
1.4. Internet de las Cosas (IoT) en la Agricultura	38
1.4.1. Protocolos de Comunicación en IoT.....	38
1.4.2. Sensores y Actuadores IoT	39
1.4.2.1. Tipos de sensores y Actuadores IoT	39
1.5. Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)	41
1.5.1. Aplicaciones de las WSN.....	41
1.5.2. Arquitectura de WSN.....	42
1.5.3. Estructura y componentes de un nodo sensor	43
2.5.4. Módulos (WSN).....	44
2.5.4.1. Tipos de módulos para redes de sensores inalámbricos (WSN).....	44
2.6. Microcontroladores	45
2.6.1. Lenguajes de Programación para microcontroladores	48
2.6.1.1. Tipos de lenguajes de Programación	48
2.6.2. Aprendizaje de Maquina en microcontroladores	49
2.6.2.1 Aprendizaje Supervisado	50
2.6.2.2. Aprendizaje no Supervisado	50

2.6.2.3. Aprendizaje de Transferencia	50
Capítulo III: Diseño del Sistema.....	51
3.1. Metodología	51
3.2. Etapa Diagnóstico	54
3.2.1. Situación Actual.....	54
3.2.2. Especies seleccionadas para el sistema inteligente	55
3.3. Etapa planificar	56
3.4. Requerimientos	56
3.5. Nomenclatura de los Requerimientos	56
3.6. Requerimientos de Stakeholders	57
3.6.1. Listado de Stakeholders	57
3.6.2. Requerimientos Operacionales y de Usuario	58
3.6.3. Requerimientos del Sistema.....	59
3.6.4. Requerimientos de Arquitectura del Sistema.....	60
3.7. Selección de Hardware y Software	62
3.7.1. Elección de Hardware	62
3.7.1.1. Elección de Nodo Sensor	63
3.7.1.2. Elección de la Placa de Procesamiento	64
3.7.1.3. Elección de Sensor de Humedad.....	67
3.7.1.4. Elección de Sensor de Calidad de Aire.....	68
3.7.1.5. Elección de Sensor de Temperatura.....	71

3.7.1.6. Elección de Sensor de Luz.....	72
3.7.1.7. Elección de Sensor TDS	74
3.7.1.8. Elección de Ventiladores	75
3.7.1.9. Elección de Electroválvulas.....	77
3.7.1.10. Elección de Tipo de LEDS para Cultivos.....	79
3.8. Elección de Software	81
3.8.1. Selección de lenguaje de Programación para Sensores	81
3.8.2. Selección de lenguaje de Programación para Procesamiento	82
3.8.3. Software Bloque de Almacenamiento	83
3.8.4. Software Bloque del Procesamiento	83
3.8.5. Software Bloque de Visualización.....	84
3.8.6. Software Bloque de Alerta.....	85
3.9. Diseño Estructural del Sistema	85
3.10. Diseño del Sistema.....	87
3.10.1. Diagrama de bloques del Sistema	87
3.10.3. Arquitectura del Sistema.....	90
3.11. Alimentación del Sistema	91
3.11.1. Cálculo de Corriente	91
3.12. Esquema de conexión del Nodo Principal	92
3.12. 1. Diagrama de flujo del Nodo Central.....	94
3.12. 2. Esquema de conexión de Nodos Secundarios.....	95

3.12. 3. Adquisición de Expansor de Nodos Secundarios	96
3.13. Calibración de Sensores	96
3.13.1. Adquisición de Datos de Humedad con el sensor Capacitivo	97
3.13.2. Adquisición de Datos de Temperatura y Humedad del Ambiente.	100
3.13.3. Adquisición de Datos de Luminosidad.	101
3.13.3. Adquisición de Datos de Calidad de Aire.	103
3.13.3. Adquisición de Datos de Sensor TDS.	103
3.14. Desarrollo de la Programación del Sistema (Software)	105
3.14.1. Lectura de Datos por Los sensores de Humedad para Nodo Secundario (Albahaca).....	106
3.14.2. Lectura de Datos por Los sensores de Humedad para Nodo Secundario (Orégano).....	108
3.14.3. Lectura de Datos por el sensor de Temperatura (Para todos los Nodos)	111
3.14.4. Lectura de Datos por el sensor de Calidad de Aire (Para todos los Nodos)	112
3.14.5. Lectura de Datos por el sensor de Luminosidad (Nodo1)	114
3.14.6. Lectura de Datos por el sensor de TDS (Nodo2).....	115
3.14.7. Recepción de datos por medio del Software Node-RED.....	116
3.15. Almacenamiento de Datos	116
3.16. Análisis de Datos	121
3.16.1 Selección	122

3.16.2. Preprocesamiento	122
3.16.3. Transformación	125
3.16.4. Algoritmo de Árbol Randómico (Random Forest)	127
3.17. Bloque de Visualización	136
CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE	
RESULTADOS	142
4.1. Implementación Estructural del sistema	142
4.2. Implementación Electrónica del sistema	148
4.3. Pruebas de Hardware/Software	152
4.3.1. Pruebas de Hardware/Software	152
4.3.1.1. Pruebas de Acoplamiento de los Componentes	154
4.3.1.2. Test de Funcionamiento del Nodo Central	156
4.3.1.3. Test de Comunicación entre Nodos	160
4.3.1.4. Test del Funcionamiento de Aplicativo Móvil	167
4.3.2. Medición de Parámetros del Estado del Cultivo Tradicional (Albahaca y Orégano)	176
4.4. Etapa de Evaluar Resultados.....	178
4.4.1. Análisis de Cultivo Tradicional	178
4.4.2. Análisis del Cultivo Supervisado.....	193
4.5. Comparativa del Cultivo Tradicional vs Monitoreo	205
4.6. Costos Del Sistema	215
4.6.1. Costo de Hardware.....	215

4.6.2. Costo de Infraestructura.....	216
4.6.3. Costos de Ingeniería.....	217
4.6.4. Costos de Software	218
4.6.5. Costo Global del Sistema.....	219
4.7. Beneficios del Sistema.....	220
COCLUSIONES	221
RECOMENDACIONES	223
BIBLIOGRAFÍA.....	224
ANEXOS.....	232

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de la Agricultura de Precisión.....	29
Figura 2. Albahaca de la India (Ocimum Tenuiflorum)	32
Figura 3. Albahaca Napolitana (Ocimum Tenuiflorum)	32
Figura 4. Albahaca Pluto (Ocimum Bacilicum)	33
Figura 5. Albahaca Mexicana (Ocimum Basilicum)	33
Figura 6. Orégano Mediterráneo.....	35
Figura 7. Orégano sudamericano	35
Figura 8. Orégano Mexicano	36
Figura 9. Principales aplicaciones de WSN.....	42
Figura 10. Modelo de referencia de Arquitectura IOT	43
Figura 11. Estructura de un nodo de comunicación inalámbrico	44
Figura 12. Estructura general interna de un microcontrolador	46
Figura 13. Metodología Action Research	52
Figura 14. Distribución del Área de trabajo para el sistema de Cultivo Indoor.	54
Figura 15. Absorción basada en la longitud de onda y los pigmentos de las plantas (Clorofila a y b y β -Caroteno).....	79
Figura 16. Diseño Estructural del cultivo Indoor	86
Figura 17. Diseño Estructural Final del Sistema de Cultivo Indoor.....	86
Figura 18. Diagrama de Bloques del Sistema Indoor	87
Figura 19 . Arquitectura del Sistema Indoor.....	90
Figura 20. Conexión de Nodo Central	92
Figura 21. Vista superior del Nodo central.....	93
Figura 22. Interfaz Gráfica del Nodo Central	93
Figura 23. Diagrama de Flujo del Nodo Central	94

Figura 24. Esquema de Conexión de Nodos Secundarios	95
Figura 25. Diseño de Expansor para Módulos de los Sensores	96
Figura 26. Conexión entre el Sensor Capacitivo y la Placa ESP32-WROOM.....	97
Figura 27. Diagrama de Flujo de Valores Análogos del sensor Capacitivo a escala de Humedad	98
Figura 28. Calibración de Sensores Capacitivos de Humedad V2.0	99
Figura 29. Conexión entre el Sensor DHT22 y la Placa ESP32-WROOM.....	100
Figura 30. Esquema de conexión del sensor LDR al Nodo ESP32	102
Figura 31. Conexión entre el Sensor MQ-135 y la Placa ESP32-WROOM	103
Figura 32. Conexión entre el TDS y la Placa ESP32-WROOM	104
Figura 33. Diagrama de Flujo de Nodos Secundarios	105
Figura 34. Código de Funcionamiento y Valor Promedio de Sensores de Humedad	106
Figura 35. Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo parcialmente seco.....	107
Figura 36. Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo sin presencia de Humedad	108
Figura 37. Código de Funcionamiento y Valor Promedio de Sensores de Humedad para el Orégano	109
Figura 38. Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo parcialmente seco.....	109
Figura 39. Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo parcialmente húmedo.....	110
Figura 40. Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo con poca presencia de Humedad.....	111

Figura 41. Código de Funcionamiento de Sensores de Temperatura y Humedad del Ambiente.....	112
Figura 42. Obtención de Valores de Temperatura y Humedad del Ambiente.....	112
Figura 43. Código de Funcionamiento de Sensores de Calidad de Aire	113
Figura 44. Obtención de Estado y Valores Análogos de la Calidad del Aire.....	113
Figura 45. Código de Funcionamiento del Sensor de Luminosidad (Nodo 1)	114
Figura 46. Obtención de Estado y Valores Análogos del Sensor de Luminosidad ..	115
Figura 47. Obtención valores de diferentes tipos de líquidos.....	115
Figura 48. Recepción de datos sensados por los cultivos	116
Figura 49. Creación de Tabla para cultivos correspondientes	117
Figura 50. Configuración de conexión NodeRED-MariaDB	118
Figura 51. Función para proceso de Variables Albahaca	118
Figura 52. Función para proceso de Variables de Orégano	119
Figura 53. Valores Insertados en la Base de datos	120
Figura 54. Firebase conectada a la App de IONIC	120
Figura 55. Proceso KDD (Conocimiento en Base de Datos).....	121
Figura 56. Selección de datos para su depuración (Albahaca)	122
Figura 57. Depuración de Datos Malos (Albahaca y Orégano).....	123
Figura 58. Depuración de Datos Albahaca	124
Figura 59. Depuración de Datos Orégano	124
Figura 60. Proceso de Transformación KDD	125
Figura 61. Distribución de registros según el estado del cultivo (Albahaca)	127
Figura 62. Distribución de registros según el estado del cultivo (Orégano).....	127
Figura 63. Diagrama de flujo del proceso de predicción con Random Forest.....	128
Figura 64. Resultados del modelo Random Forest para el cultivo de albahaca	129

Figura 65. Resultados del modelo Random Forest para el cultivo de orégano	130
Figura 66. Representación de un árbol del modelo Random Forest para el cultivo de albahaca.....	131
Figura 67. Árbol de decisión del modelo Random Forest para el cultivo de orégano	132
Figura 68. Primer Arbol del modelo Random Forest (Albahaca).....	133
Figura 69. Primer árbol de decisión del modelo para orégano	134
Figura 70. Importancia relativa de las variables predictoras en el modelo Random Forest para albahaca.	135
Figura 71. Matriz de confusión obtenida en la validación del modelo para albahaca	136
Figura 72. Diagrama de flujo del funcionamiento del bloque de visualización	137
Figura 73. Pantalla de inicio de la aplicación AgroAI.....	138
Figura 74. Interfaz de monitoreo y control del cultivo de albahaca	139
Figura 75. Interfaz de monitoreo y control del cultivo de orégano	140
Figura 76. Interfaz del bloque de predicción en la aplicación móvil.....	141
Figura 77. Estructura física del sistema de cultivo indoor.....	143
Figura 78. Proceso de emplastado de la estructura del sistema de cultivo indoor.	144
Figura 79. Sustrato acondicionado con champiñonaza para el cultivo indoor	145
Figura 80. Composición del sustrato utilizado en el sistema de cultivo indoor	146
Figura 81. Medición de la plántula previo al trasplante al sistema de cultivo indoor	147
Figura 82. Trasplante de plantas de Albahaca y Orégano	148
Figura 83. Conexión hidráulica y electroválvulas para la gestión del riego en el cultivo indoor	149

Figura 84. Cajas de protección para los nodos de monitoreo del cultivo indoor.....	150
Figura 85. Alojamiento de actuadores para riego, ventilación e iluminación del cultivo.....	150
Figura 86. Distribución interna de la PCB y conexiones de sensores en el nodo principal.....	151
Figura 87. Acoplamiento de Sensores al Nodo para toma de Datos.....	154
Figura 88. Validación del Acoplamiento y Funcionamiento de Sensores en el Nodo	156
Figura 89. Creación de base de datos para cada cultivo	158
Figura 90. Depuración de Base de datos (Albahaca).....	158
Figura 91. Depuración de Base de datos (Orégano)	158
Figura 92. Predicción del Estado del Cultivo de Albahaca y Orégano.....	159
Figura 93. Visualización de datos y Clasificación del Estado del cultivo de Albahaca y Orégano	160
Figura 94. Fragmento de código donde se define el endpoint del servidor de orégano	162
Figura 95. Fragmento de código donde se define el endpoint del servidor de Albahaca.....	162
Figura 96. Estructura del código para la transmisión de datos sensorales vía HTTP en el sistema de cultivo indoor.....	163
Figura 97. Configuración de los nodos HTTP receptores en Node-RED: (a) Endpoint /sensor-data para el nodo sensor de orégano. (b) Endpoint /sensor-albahaca para el nodo sensor de albahaca.....	163
Figura 98. Recepción de Datos en Node Red	164

Figura 99. Representación del flujo funcional correspondiente al cultivo de orégano.	165
Figura 100. Representación del flujo funcional correspondiente al cultivo de Albahaca.....	166
Figura 101. Consulta Filtrada de Variables Ambientales en la App Móvil.....	168
Figura 102. Opciones para control de variables del cultivo de Albahaca y Orégano	169
Figura 103. Visualización y control de temperatura, humedad ambiental y humedad del suelo desde la aplicación móvil.....	170
Figura 104. Visualización y control de temperatura, luminosidad y Calidad del aire desde la aplicación móvil.....	171
Figura 105. Visualización y control de Calidad de agua, desde la aplicación móvil	172
Figura 106. Validación del Estado del Cultivo y Generación de Reportes	173
Figura 107. Evaluación del estado y seguimiento histórico del cultivo	173
Figura 108. Recomendaciones inteligentes y generación del informe PDF	175
Figura 109. Notificaciones automáticas mediante Telegram para monitoreo del estado del cultivo.....	175
Figura 110. Altura registrada de la albahaca hasta la semana 7	180
Figura 111. Altura registrada de la albahaca hasta la semana 7	181
Figura 112	182
Figura 113. Frondosidad del cultivo Tradicional de Albahaca.....	184
Figura 114. Frondosidad del cultivo Tradicional de Orégano.....	185
Figura 115. Evaluación del Desarrollo Radicular de la Albahaca en Cultivo Tradicional	186

Figura 116. Desarrollo final de la planta de albahaca en la semana 7 del cultivo indoor supervisado	195
Figura 117. Crecimiento del orégano en la semana 7 del cultivo indoor supervisado	197
Figura 118. Expansión lateral del orégano en la semana 7 del cultivo indoor supervisado.....	199
Figura 119. Estado morfológico y coloración foliar de la albahaca en cultivo indoor supervisado.....	200
Figura 120. Estado foliar del orégano en cultivo indoor supervisado durante la semana 7.....	201
Figura 121	202
Figura 122. Frondosidad del orégano representada por ramificaciones activas en la semana 7.....	203
Figura 123. Desarrollo radicular de la albahaca en cultivo indoor supervisado.....	204
Figura 124. Comparativa de Producción en el cultivo de albahaca entre sistema supervisado vs tradicional	206
Figura 125. Comparativa de Producción en el cultivo de orégano entre sistema supervisado vs tradicional	207
Figura 126. Comparativa de crecimiento del cultivo de Albahaca (Tradicional vs Controlado)	208
Figura 127. Comparativa de crecimiento del cultivo de Orégano (Tradicional vs Controlado)	209
Figura 128. Desarrollo del diámetro del cultivo tradicional vs supervisado de Orégano	210

Figura 129. Comparativa de frondosidad en albahaca (hojas) y orégano
(ramificaciones) entre cultivo tradicional y supervisado indoor.....211

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre las diferentes Técnicas de Agricultura de Precisión.....	27
Tabla 2. Descripción de valores nutricionales del Albahaca por cada 100g.....	36
Tabla 3. Enfermedades que tratan las plantas medicinales de Albahaca y Orégano ..	37
Tabla 4. Descripción de los sensores y actuadores más comunes.	39
Tabla 5. Tipos de Módulos para WSN.....	45
Tabla 6. Componentes importantes de un microcontrolador	47
Tabla 7. Características de los tipos de lenguajes de programación.....	49
Tabla 8. Términos Abreviados y Acrónimos para el Análisis de Requisitos	57
Tabla 9 . Priorización de los Requerimientos para el Sistema.....	57
Tabla 10. Lista de Stakeholders del proyecto	58
Tabla 11. Requerimientos Operacionales y de Usuario	58
Tabla 12. Requerimientos del Funcionamiento del Sistema.....	59
Tabla 13. Requerimientos de Arquitectura del Sistema.....	61
Tabla 14. Elección de Nodo Sensor	63
Tabla 15. Selección de hardware nodo sensor	63
Tabla 16. Elección de Placa de Procesamiento.....	65
Tabla 17. Selección de placa Procesadora	65
Tabla 18. Elección de sensor de humedad del suelo.....	67
Tabla 19. Selección de sensor de Humedad de Suelo.....	68
Tabla 20. Elección de sensor de Calidad de Aire	69
Tabla 21. Selección de sensor de Calidad de Aire.....	70
Tabla 22. Elección de Sensor de Temperatura Ambiental.....	71
Tabla 23, Selección de Sensor de Temperatura para Cultivos.....	71
Tabla 24. Elección de sensor de Luminosidad.....	72

Tabla 25. Selección de sensor de Luminosidad	73
Tabla 26. Elección de Sensor TDS	74
Tabla 27. Elección de Sensor TDS	75
Tabla 28. Elección de Ventilador.....	76
Tabla 29. Selección de ventilador DC	76
Tabla 30. Elección de Electroválvula	77
Tabla 31. Selección de Electroválvula DC	78
Tabla 32. Selección de Iluminación LED para plantas.....	80
Tabla 33. Selección de Lenguaje de Programación para Sensores	81
Tabla 34. Selección de Lenguajes de Programación para Bloque de Procesamiento.....	82
Tabla 35. Selección de Plataforma de Almacenamiento.....	83
Tabla 36. Selección de Algoritmo de Procesamiento	84
Tabla 37. Selección de Interfaz de Visualización.....	85
Tabla 38. Cálculo de corriente para los nodos secundarios	91
Tabla 39. Datos Técnicos de Recepción de Sensores	123
Tabla 40. Marcaje de los estados de los cultivos (Albahaca y Orégano).....	126
Tabla 41. Rangos de los estados de los cultivos (Albahaca y Orégano).....	126
Tabla 42. Composición nutricional del abono orgánico (champiñonaza) utilizado en el sustrato	145
Tabla 43. Cronograma de Actividades para el Funcionamiento del Sistema	152
Tabla 44. Test de Acoplamiento y Precisión de Componentes.....	155
Tabla 45. Test de Funcionamiento del Nodo Central	157
Tabla 46. Test de Comunicación entre nodos	161
Tabla 47. Test de Comunicación entre App Y Nodos	167

Tabla 48. Rangos ambientales tradicionales para el cultivo de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>).....	177
Tabla 49. Rangos ambientales tradicionales para el cultivo de orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	178
Tabla 50. Pigmentación de hojas de plantas vegetales	183
Tabla 51. Registro Manual de Variables Ambientales en el Cultivo de Albahaca...	187
Tabla 52. Registro Manual de Variables Ambientales en el Cultivo de Orégano	190
Tabla 53. Crecimiento semanal promedio de plantas de albahaca en cultivo indoor	194
Tabla 54. Crecimiento semanal promedio de plantas de orégano en cultivo indoor	196
Tabla 55. Evolución del diámetro promedio de plantas de orégano en cultivo indoor supervisado.....	198
Tabla 56. Comparativa del cultivo Indoor de Albahaca y Orégano vs el Tradicional	212
Tabla 57. Costos de Hardware	215
Tabla 58. Costos de Infraestructura	216
Tabla 59. Costos de Ingeniería.....	217
Tabla 60. Costos de Software	218
Tabla 61. Costo total del sistema	219

Capítulo I: Antecedentes

1.1. Tema

SISTEMA INTELIGENTE PARA EL CULTIVO DE PLANTAS MEDICINALES BAJO CONDICIONES INDOOR EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE, MEDIANTE EL USO WSN Y TÉCNICAS DE IA

1.2. Problema

Un manejo apropiado de la vegetación herbácea mejora la fertilidad del suelo y lo resguarda de la erosión. También, aumenta la diversidad de plantas y animales, promoviendo un equilibrio natural que ayuda a controlar plagas y enfermedades, y contribuye a reducir los efectos del cambio climático al absorber carbono (Rey et al., 2019).

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2010 se registraron diferentes tasas de enfermedades en Ecuador. La tasa de intoxicación alimentaria fue del 30,7 por cada 100.000 habitantes, mientras que la tasa de enfermedades diarreicas agudas fue del 48,509 por cada 100.000 habitantes (OMS, 2024). Además, según (OMS, 2024) la tasa de hepatitis fue del 43,1 por cada 100.000 habitantes y la tasa de fiebre tifoidea alcanzó el 14,5 en ese mismo año. Debido a esta problemática es común en áreas rurales, que la población recurra al uso de plantas nativas para tratar diversas enfermedades, aprovechando todas sus partes a través de diferentes métodos.

Por otro lado, la tradición del uso de plantas medicinales en Ecuador ha sido transmitida oralmente de generación en generación a lo largo de miles de años. Lamentablemente, esta transferencia de conocimiento se ha ido perdiendo con el tiempo. Por otra parte, la creciente prevalencia de la medicina moderna ha contribuido al declive en el uso de la medicina ancestral. Sin embargo, en las últimas décadas, la práctica de la medicina tradicional o alternativa ha

emergido como una importante contribución a la prevención y restauración de la salud humana en Ecuador (Bermúdez del Sol et al., 2022)

La provincia de Imbabura no es la excepción, ya que el conocimiento gastronómico de las hierbas y especias en el área rural de Atuntaqui, cantón Antonio Ante, puede estar disminuyendo con el paso del tiempo. Esto puede atribuirse al salto generacional de su población, al menor interés de los jóvenes por mantener este conocimiento (Paredes et al., 2015) o a la pérdida de biodiversidad (Peñañiel et al., 2016). Por lo tanto, resulta crucial identificar y rescatar el conocimiento del uso de hierbas y especias en la alimentación tradicional, siendo este uno de los objetivos del presente estudio. Además, se reconoce la necesidad creciente de las plantas medicinales en la sociedad actual, dado su potencial para tratar diversas enfermedades y mejorar la salud de las personas.

En vista de esta situación, se busca introducir y promover la agricultura inteligente o 'Smart Farming' en este tipo de zonas. Este enfoque se centra en reducir los desperdicios y aumentar la productividad en los campos de cultivos medicinales. Para lograrlo, es crucial emplear productos para proteger los cultivos y optimizar el uso del agua, asegurando que solo se utilice la cantidad necesaria. Estas prácticas son fundamentales para preservar la calidad del suelo (El Universo, 2019).

Para abordar los desafíos de cultivos medicinales, se propone una innovadora solución centrada en tecnologías inteligentes y conectividad IoT para abordar los desafíos de la agricultura en interiores. Esta estrategia se enfoca en optimizar el cultivo de plantas medicinales en entornos controlados mediante la utilización de tecnología avanzada para procesar datos recopilados por una red de sensores. Este enfoque implica la implementación de un sistema autónomo que aprovecha las capacidades de IoT para monitorear y controlar las condiciones ambientales y el estado de salud de los cultivos. Los datos obtenidos de los sensores serán procesados con inteligencia artificial para identificar posibles complicaciones y

mejorar el rendimiento de los cultivos. Para llevar a cabo este análisis de manera eficiente, se utilizará técnicas de aprendizaje cuya técnica se especializará en el procesamiento de datos y la extracción de características relevantes para el diagnóstico y la toma de decisiones en el contexto agrícola de estas especies medicinales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema inteligente para el cultivo de Plantas Medicinales bajo condiciones Indoor en el Cantón Antonio Ante, mediante el uso WSN y técnicas de IA.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un estado del arte sobre el cultivo del orégano y la albahaca con fines medicinales, así como el uso de tecnologías inalámbricas e Internet de las Cosas, para mejorar la gestión de los cultivos medicinales.
- Establecer los requerimientos de software y hardware para el sistema, teniendo en cuenta las exigencias del usuario y el contexto de implementación, con el fin de asegurar su óptimo rendimiento.
- Implementar el sistema inteligente para cultivos medicinales bajo condiciones indoor mediante la programación y diseño de estructura, calibración de sensores, así también como la implementación de Inteligencia Artificial.
- Realizar pruebas de rendimiento del sistema inteligente entre las técnicas de cultivo tradicional y las técnicas desarrolladas para validar su eficaz y correcto funcionamiento.

1.4. Alcance

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema automatizado de monitoreo para mejorar el control del crecimiento de cultivos en sistemas micro-farms, mediante una red de sensores y uso de aprendizaje computacional. Se utilizará la metodología Action-Research, el cual consta de 4 etapas (Planificar, hacer, controlar y actuar), este aporta a cada una de las diferentes etapas de este proyecto a sostener un ciclo de vida óptimo.

Este proyecto se centra en la zona específica del cantón Antonio Ante, donde se busca diseñar el sistema sostenible para mejorar la producción de plantas medicinales, por ello nos vamos a basar en las 4 fases de la metodología propuesta.

Como primera fase tendremos en el análisis de los requisitos para la integración del sistema. Se examinarán tanto los componentes de hardware como de software, lo que facilitará la selección adecuada de los elementos que formarán parte del sistema de control y monitoreo, todo esto haciendo referencia a la fase de planificación.

Para la siguiente fase, la cual se refiere al “Hacer”, se llevará a cabo el desarrollo del sistema inteligente. Se iniciará con la parte estructural, que será responsable de sostener todos los componentes, incluyendo las secciones para el flujo hídrico y ambiental, así como el sistema de control autónomo. Además, se contempla la integración de varios sensores que ayudarán a la precisión para monitorear variables físicas y químicas como, luminosidad temperatura, sólidos disueltos y humedad del suelo, todas estas de vital importancia para el crecimiento de las plantas en entornos cerrados. Dentro del diseño, también se considera la siembra de plántulas de albahaca y orégano, cuyas raíces estarán colocadas en un espacio pequeño de tierra, el cual será controlado para mantener su nivel óptimo de humedad.

En la tercera fase, se lleva a cabo la programación y calibración de los sensores seleccionados, los cuales van ayudando a controlar el sistema inteligente. Una vez confirmado el correcto funcionamiento de los nodos, el sistema embebido comienza la recolección de datos

a través de los sensores conectados a la placa de control. Posteriormente, las variables físicas y químicas previamente identificadas son transmitidas de forma inalámbrica, y recibidas por el nodo de procesamiento, donde se almacenan en una base de datos de código abierto alojada en un servidor de la red local, en tiempo real. El nodo de procesamiento, luego de recibir los datos, utilizará un algoritmo de inteligencia artificial.

Este modelo será entrenado para procesar los datos en tiempo real, permitiendo así una evaluación continua y precisa del crecimiento de las plantas y el tamaño de sus hojas. Este entrenamiento incluirá el uso de algoritmos avanzados de aprendizaje automático que analizarán una variedad de parámetros físicos y químicos recopilados por los sensores, tales como la humedad del suelo, la temperatura, la luminosidad y la concentración de nutrientes en el agua.

Finalmente, en la fase de toma de decisiones, los objetivos buscados con la automatización incluyen mejorar la calidad y la sostenibilidad del cultivo. Esto se evidenciará mediante una comparación entre los cultivos de orégano y albahaca realizados utilizando tanto la técnica tradicional como el sistema inteligente desarrollado. Esta comparación permitirá demostrar la eficacia y superioridad del sistema de cultivo supervisado en comparación con otros métodos que carecen de este nivel de corrección y monitoreo.

La implementación del sistema abarcará el control de variables esenciales, las cuales serán de ayuda para el entrenamiento del algoritmo a utilizar. La recolección de estos datos será crucial, especialmente en entonos cerrados donde el control del agua y la luz debe ser preciso. Por lo tanto, se dará especial atención a la detección anticipada de cualquier enfermedad que pueda representar una amenaza para los cultivos de interiores.

1.5. Justificación

Las plantas representan un recurso invaluable en los sistemas de salud de las naciones en desarrollo. Aunque no existen datos específicos para cuantificar el alcance del uso global de plantas medicinales, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha calculado que más del 80% de la población mundial emplea regularmente la medicina tradicional para satisfacer sus necesidades de atención primaria de salud, y gran parte de estos tratamientos involucra el uso de extractos de plantas o sus componentes activos. Según la (OMS, 1979), una planta medicinal se define como cualquier especie vegetal que contiene sustancias con potencial terapéutico o cuyos componentes activos pueden ser utilizados como precursores para la síntesis de nuevos fármacos (Oliveira Miranda et al., 2005) .

Estas plantas también tienen aplicaciones significativas en la medicina moderna. Entre otras funciones, sirven como fuente directa de agentes terapéuticos, se utilizan como materia prima para la producción de medicamentos semisintéticos más complejos, la estructura química de sus componentes activos puede inspirar el diseño de fármacos sintéticos, y dichos componentes pueden utilizarse como marcadores taxonómicos en la búsqueda de nuevos medicamentos (Olayiwola, 2021).

En muchos países en vías de desarrollo, se ha observado una pérdida significativa que amenaza la transmisión de este conocimiento ancestral. Por lo tanto, es esencial emprender esfuerzos no solo para preservar esta rica herencia cultural, sino también para documentar la información acerca de especies particulares que podrían tener potencial para desarrollar nuevas fuentes de medicamentos y otros beneficios para la humanidad. A pesar de esta declinación en la transmisión del conocimiento, el uso medicinal de plantas y sus derivados con propósitos terapéuticos, ya sea para prevenir, aliviar o curar enfermedades, sigue siendo relevante (Balarezo López, 2018).

Por otro lado, mientras la integración de sistemas de monitoreo meteorológico, topográfico y de cosechas, junto con la combinación de datos e IoT en el ámbito agrícola, se ha logrado reducir significativamente la pérdida de tiempo y recursos en el campo. Desde el momento de la siembra hasta el análisis de la calidad del suelo, la Agricultura Inteligente proporciona información detallada y permite tomar decisiones estratégicas en todas las etapas del cultivo. Al aprovechar estos datos con la ayuda del IoT, los agricultores pueden automatizar aún más sus procesos, aumentar su control sobre los cultivos y optimizar el uso de sus herramientas agrícolas de manera más eficiente. En la actualidad, existen sistemas en el mercado que no solo ejecutan tareas preestablecidas, sino que también identifican áreas de mejora o riesgo dentro de los cultivos. En resumen, la tecnología y el IoT en la agricultura se han convertido en aliados directos de los productores rurales en la gestión de sus tierras (BASF, 2022).

Toda esta innovación está dirigida a apoyar el quinto objetivo del Plan de Desarrollo para un Nuevo Ecuador (2024-2025), que busca mejorar la productividad de manera sostenible en la producción, especialmente en el sector agroalimentario y pesquero nacional. Este objetivo se enfoca en proteger estas industrias mediante la implementación de estrategias financieras favorables y la promoción de tecnologías y prácticas ecológicas en la agricultura y la ganadería (Secretaría Nacional de Planificación, 2024)

Capítulo II: MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica que establece las bases esenciales para este trabajo de investigación, proporcionando la validez necesaria para su ejecución. Se comienza con una introducción a la agricultura de precisión, los cultivos medicinales tradicionales, los cultivos controlados y los cultivos en interiores. Además, se analizan las diferentes variables que afectan el entorno de crecimiento de las plantas. Por otro lado, se describe la recolección de datos a través de sensores que miden las variables nutricionales del agua en los cultivos de interiores.

También se detalla el tratamiento de estos datos mediante algoritmos de aprendizaje supervisado y cómo se toman decisiones sobre el estado nutricional de los cultivos. Finalmente, se explica la red de sensores que transmiten la información al nodo principal encargado del procesamiento de los datos.

2.1.1. Agricultura tradicional

Según Martínez Castillo, el sistema agroproductivo tradicional se determina por sus características culturales, socioeconómicas y políticas. La agroecología se basa en la experiencia campesina sobre la dimensión ecológica, al analizar la apropiación del agroecosistema y sus formas de manejo, sabiduría, sustentabilidad y significados prácticos.

Aunque hoy se reconoce que el campesino posee amplios conocimientos sobre entomología, botánica, suelos, agronomía, estos deben aunarse con tecnologías y prácticas agrícolas sustentables al entorno natural y social (Martínez, 2008).

2.1.2. Agricultura de Precisión

En los últimos años, la evaluación de la producción agrícola se ha enfocado en realizar predicciones precisas y seguras para el desarrollo de la producción de alimentos, con el objetivo de satisfacer la demanda global anticipada para el año 2050, (FAO, 2020). Los parámetros

ambientales obtenidos a través de sensores proporcionan una base sólida para el desarrollo actual de los cultivos, promoviendo actividades que permiten una gestión más precisa en las tareas agrícolas. Asimismo, se potenciaría el uso de los beneficios del monitoreo en tiempo real.

2.1.2.1. Técnicas de Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión incorpora una variedad de técnicas avanzadas para optimizar el manejo de cultivos y mejorar la eficiencia en la producción agrícola. Estas técnicas utilizan tecnologías modernas como sensores, sistemas de información geográfica, imágenes satelitales y modelos predictivos para proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones del suelo, el clima y el crecimiento de los cultivos. A continuación, se presenta un cuadro comparativo que detalla las características, aplicaciones, beneficios y limitaciones de algunas de las principales técnicas de agricultura de precisión, destacando su importancia en la mejora de la productividad y sostenibilidad agrícola (García & Flego, 2018).

Tabla 1

Comparativa entre las diferentes Técnicas de Agricultura de Precisión.

Técnica	Descripción	Aplicaciones	Beneficios	Limitaciones
		Principales		
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Herramienta de mapeo digital para la gestión y al análisis de datos geoespaciales.	Crea mapas de Variabilidad de suelo, humedad y nutrientes.	Optimiza el uso de insumos, mejora en la toma de decisiones.	Se requiere de conocimientos técnicos, alto costo inicial
Sensores de suelo y climático	Dispositivos que miden parámetros ambientales y del suelo.	Monitorea humedad, temperatura, suelo, salinidad y clima.	Nos ofrece datos en tiempo Real, mejora en la gestión de riego y fertilización.	El costo de mantenimiento y su respectiva calibración.
Imágenes de Drones y Satélites	Captura de datos visuales	Monitorea salud y estado del cultivo,	Alta cobertura, datos detallados, permite	Dependencia de condiciones climáticas,

	y térmicos desde el aire.	además de la detección de plagas y enfermedades.	detección temprana.	procesamiento de datos.
Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	Tecnología de locación precisa.	Maquinaria guiada por GPS	Operaciones precisas y reducción de solapamientos.	Alto costo en equipos necesita señal de GPS estable.

Fuente: (SafetyCulture, 2024)

2.1.2.2. Fases de la Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión comenzó a ser teorizada en los años 80 por el Dr. Pierre Robert, reconocido como un pionero en este campo. Su idea fundamental era emplear tecnología y equipos avanzados para utilizar los recursos de manera más eficiente en los campos agrícolas. Con el desarrollo y expansión de la tecnología informática moderna, la agricultura de precisión se volvió más precisa y su aplicación se extendió a explotaciones agrícolas de mayor escala (Simanca et al., 2023).

Según (Riepma, 2022), un analista de datos agrícolas describe la agricultura de precisión, también conocida como agricultura inteligente, como "la práctica de utilizar datos para optimizar la producción agrícola, a pesar de las circunstancias variables. Es una forma de cultivar en la que cada cultivo específico recibe el tratamiento adecuado, en el momento y el lugar adecuados. Para ello, necesitas conocer los detalles precisos de tus cultivos y campos". La agricultura de precisión opera en un ciclo que puede dividirse en cuatro etapas clave:

Figura 1*Ciclo de la Agricultura de Precisión*

Fuente: Adaptado de (Vellerman & Gelerter, 2019)

2.2. Micro Granjas

Según (Giacchè, 2024), las micro granjas urbanas son pequeñas unidades de producción agrícola ubicadas en entornos urbanos, como azoteas o terrenos a nivel del suelo, que proporcionan diversos servicios ecosistémicos culturales. Estas micro granjas contribuyen a la integración de la agricultura dentro de la ciudad, ofreciendo beneficios culturales, educativos y recreativos para los residentes urbanos.

2.2.1. Sistema Indoor

Cultivar plantas en espacios cerrados es la esencia del cultivo en interiores, conocido como cultivo en interiores (indoor). Esta técnica se lleva a cabo principalmente en carpas que varían en tamaño; algunas son lo suficientemente pequeñas para caber en un apartamento,

mientras que otras son mucho más grandes y se instalan en áreas abiertas. Estas carpas permiten un control preciso de las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la iluminación, lo cual es crucial para el crecimiento óptimo de las plantas (Gasex, 2021).

Además, la capacidad de manipular estos parámetros permite cultivar una amplia variedad de plantas, desde aquellas que prosperan en climas tropicales hasta las que prefieren ambientes más fríos. Así, el cultivo indoor se adapta a las necesidades específicas de cada planta, brindando un entorno ideal para su desarrollo, independientemente de las condiciones climáticas externas (Sexton & Ruple, 2024).

2.2.1.1. Técnicas de cultivo en Sistemas Indoor

SOG: Mar verde de sus siglas en inglés Sea of Green, es un tipo de técnica de cultivo que tiene como objetivo agrupar varias plantas dentro de espacios establecidos. Estas agrupaciones se las hace individualmente en macetas pequeñas.

SCROG: Denominado como Screen of Green, Este tipo de cultivo tiene como objetivo la colocación de una malla superior para dar una altura base a las diferentes plantas que se establecen en el cultivo, esto para reducir el crecimiento de las plantaciones.

LST: Conocido como Low Stress Training, el objetivo de esta técnica es el modelamiento en el crecimiento de las plantas, con esto se espera que la planta pueda desarrollar su crecimiento vertical; se puede controlar la altura de la planta y gracias al modelamiento se maximiza la recepción de la luz solar.

2.2.2. Componentes de cultivos Indoor

Los elementos de un sistema indoor registran las variables del proceso y suministran información que se guarda en una base de datos y se muestra mediante una interfaz de usuario. Las variables observadas incluyen la humedad, temperatura del suelo, temperatura del

ambiente, la concentración de CO₂, la condición de la luz y el nivel de pH del agua (Chicaiza, 2022).

1.3. Cultivos Medicinales

Según la (Berdonces, 1995) las plantas medicinales son aquellos vegetales que producen compuestos conocidos como principios activos. Estos compuestos tienen efectos farmacológicos que pueden ser beneficiosos o perjudiciales para el organismo. La principal función de estas plantas es servir como medicamentos para aliviar enfermedades o restaurar la salud perdida, ayudando a reducir o neutralizar los desequilibrios orgánicos causados por enfermedades. Aproximadamente, constituyen una séptima parte de todas las especies vegetales existentes.

2.3.1 Cultivo de Albahaca

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una especie aromática de la que no se dispone de mucha información en términos de productividad o comercialización. Se considera que esta planta probablemente se originó en la India, se naturalizó en África y se adaptó ampliamente a los países mediterráneos (Ruiz et al., 2009). Según Colorado et al. (2013), la albahaca se emplea como especia y condimento en la alimentación. Existen dos variedades principales: una con hojas pequeñas, simplemente llamada albahaca, y otra con hojas anchas, conocida como basilico, que es más utilizada en la cocina (Montoya, 2022).

2.3.1.1 Tipos de Albahaca

Albahaca de la India (*Ocimum Tenuiforum*).

El tipo de albahaca denominada de la India Oriental generalmente se suele utilizar para usos terapéuticos, enfocado en los problemas digestivos y en ocasiones puede ser utilizado en recetas de cocina, esta generalmente tiene un crecimiento que ronda los 2 metros, sus tallos en ocasiones tienden a ser morados y su flor blanca (Piranha, 2023).

Figura 2

Albahaca de la India (Ocimum Tenuiflorum)



Fuente: (Piranha, 2023)

Albahaca Napolitana (Ocimum basilicum “Napoletano”)

Este tipo de albahaca tiene un tono morado, también se le conoce como tulsi, generalmente crece de 10 a 50 centímetros de altura, se le reconoce por ser muy aromática, sus hojas tienen una tonalidad verde y morada, posee capacidades antibacterianas, inmunoestimulantes adaptógenas y antiinflamatorias (Piranha, 2023) , su estructura se aprecia en la figura 3.

Figura 3

Albahaca Napolitana (Ocimum Tenuiflorum)



Fuente: (Piranha, 2023)

Albahaca Pluto (*Ocimum Basilicum* “Pluto”)

Este tipo de albahaca crece en forma de arbusto generalmente tiene un diámetro de 20 cm, se caracteriza por sus hojas aromáticas y pequeñas, este tipo es utilizado generalmente como ornamento por su apariencia (Piranha, 2023). En la figura 4 se aprecia la forma de la planta.

Figura 4

*Albahaca Pluto (*Ocimum Bacilicum*)*



Fuente: (Piranha, 2023)

Albahaca Mexicana (*Ocimum Bacilicum* “Cinnamon”)

Este tipo de albahaca generalmente crece de 15 a 30 cm de alto, su aroma característico es de canela, por ende, tiene un uso bastante elevado en infusiones, sus flores crecen a partir de tallos morados (Piranha, 2023). La figura 5 muestra un ejemplar de la Albahaca Mexicana.

Figura 5

*Albahaca Mexicana (*Ocimum Basilicum*)*



Fuente: (Piranha, 2023)

Por otro lado, también existen otro tipo de Albahacas como son: *Ocimum Basilicum* “Napoletano”, *Ocimum Americanum*, *Ocimum x Citridorum* y *Ocimum Basilicum* “Aristoteles”).

2.3.2 Cultivo de Orégano

El orégano (*Origanum vulgare*) es una planta herbácea perenne y aromática de la familia Labiaceae (Carhuapoma et al., 2005). Sus hojas, ya sean frescas o secas, se emplean como condimento en una amplia variedad de platos culinarios debido a su capacidad para mejorar el sabor de las comidas (Albado et al., 2001). Se ha demostrado que el orégano contiene aceites esenciales, lo que lo hace beneficioso para la salud humana y útil como sustituto de los aditivos sintéticos en los alimentos (Arcila et al., 1966).

2.3.2.1. Tipos de Orégano

Orégano Mediterráneo

Este tipo de orégano es una planta con hojas de tamaño mediano, su sabor y aroma es muy intenso, la planta se distingue por su color verde fuerte, pero en comparación con el

orégano sudamericano, el aroma es menos intenso, aunque el sabor es más elevado, este generalmente es utilizado en salsas o condimentos (Blanco, 2020).

Figura 6

Orégano Mediterráneo.



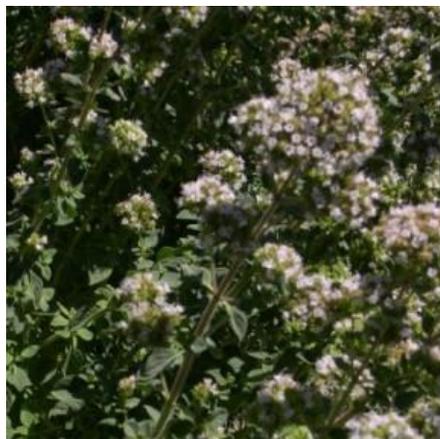
Fuente: (Blanco, 2020)

Orégano Sudamericano

La planta de orégano sudamericano se caracteriza por su color verde claro que puede tornarse en un verde grisáceo, tiene un aroma característico muy fragante, es ligeramente picante y a su vez un poco amargo, se utiliza en la alta cocina como aderezo de carne. Este tiene una alta producción en países como Argentina (Blanco, 2020).

Figura 7

Orégano sudamericano



Fuente: (Blanco, 2020)

Orégano Mexicano

También conocido como (*Lippia graveolens* Kunth), este tipo de orégano se origina en México, suele tener un sabor que es más intenso que el orégano europeo, con un toque cítrico y dulce, estén proviene de una familia diferente al orégano mediterráneo. En la figura se puede visualizar un ejemplar de orégano mexicano (Blanco, 2020).

Figura 8

Orégano Mexicano



Fuente: (Blanco, 2020)

2.3.3. Valor Nutricional de la Albahaca y Orégano.

La siguiente tabla muestra los valores nutricionales de la Albahaca y del Orégano por cada porción de 100 gramos.

Tabla 2

Descripción de valores nutricionales del Albahaca por cada 100g

Componente	Albahaca	Orégano
Calorías	50	360
Grasas totales	1.1 g	10.25 g
Colesterol	0 mg	0 mg

Azúcar	5.9 g	4.09 g
Vitaminas	264 g	264 g
Hidratos de carbono	8.1 g	64.43 g
Proteínas	3.58 g	11 g
Sal	3.58 g	0.04 g
Fibra	1.6 g	42.8 g

Nota Fuente: (Fatsecret, s.f)

2.3.4. Enfermedades que trata la Albahaca y Orégano.

Las plantas medicinales como la albahaca y el orégano han sido utilizadas durante siglos debido a sus propiedades curativas y beneficios para la salud. Estas plantas ofrecen tratamientos naturales para una variedad de enfermedades y dolencias. A continuación, en la Tabla 4. se resume las enfermedades que pueden ser tratadas con la albahaca y el orégano:

Tabla 3

Enfermedades que tratan las plantas medicinales de Albahaca y Orégano

Componente	Albahaca	Orégano
Actividad biológica	Aceite esencial con propiedades digestivas, carminativas, espasmolíticas, antisépticas, insecticidas y sedantes.	Propiedades antimicrobianas, antibacterianas, antifúngicas y antiinflamatorias.

Uso en medicina tradicional	Hojas frescas o secas en infusión para inapetencia, dispepsia, estreñimiento, cólicos, dolor de estómago, vómitos y gases. Emenagogo en casos de menstruación difícil. Externamente para lavar heridas. Macerada en alcohol para dolores reumáticos y articulares. Jugo fresco para tratar acné.	Tratamiento de infecciones respiratorias (resfriado común y gripe), infecciones urinarias, infecciones por levaduras (candidiasis). Alivio de indigestión y gases, antiinflamatorio para artritis, antioxidantes para salud cardiovascular y alivio de síntomas de alergias estacionales.
------------------------------------	--	---

Nota Fuente: Adaptado de (Farías et al., 2022) (Marín y López, 2024).

1.4. Internet de las Cosas (IoT) en la Agricultura

El Internet de las Cosas (IoT) aplicado a la agricultura, según (Berlanga & García, 2010), se refiere a la integración de diversos sensores en una red que permite la recopilación y el análisis en tiempo real de datos provenientes de los campos agrícolas. Esta tecnología proporciona a los agricultores la información necesaria para tomar decisiones informadas. Sin embargo, (Ojha et al., 2015) destacan varios desafíos en la implementación de IoT en la agricultura, como la necesidad de sistemas de bajo mantenimiento, la escalabilidad, soluciones asequibles, la gestión eficiente de pequeñas y variadas parcelas, la facilidad de uso y la capacidad de tolerar fallos.

1.4.1. Protocolos de Comunicación en IoT

Los protocolos de comunicación son esenciales para garantizar una comunicación eficiente y confiable entre los nodos. Algunos de los protocolos más utilizados incluyen Zigbee, Bluetooth Low Energy (BLE) y 6LoWPAN. Estos protocolos están diseñados para soportar comunicaciones de bajo consumo energético y asegurar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos (González et al., 2017). Además, el uso de protocolos específicos permite

la formación de redes ad hoc que se pueden reorganizar dinámicamente en respuesta a cambios en el entorno o fallos en los nodos individuales

1.4.2. Sensores y Actuadores IoT

Los sensores y actuadores son dispositivos clave que permiten la recolección de datos del entorno y su respectiva acción. Estos sensores pueden medir diversas condiciones físicas como temperatura, humedad, presión y vibraciones, convirtiéndolas en señales eléctricas que son procesadas y transmitidas a través de la red. La capacidad de operar con baterías y la posibilidad de comunicación inalámbrica facilitan la implementación de estas redes en áreas remotas y de difícil acceso. Además, los sensores dentro de las redes inalámbricas son diseñados para ser energéticamente eficientes, permitiendo un funcionamiento prolongado con recursos limitados (Kandris et al., 2020).

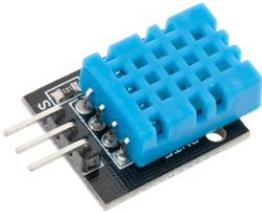
1.4.2.1. Tipos de sensores y Actuadores IoT

Existen diversos tipos de sensores y actuadores en la tecnología IoT, muchos de los cuales se utilizan en la agricultura inteligente. A continuación, se presenta una tabla que detalla los sensores y actuadores más comunes en la agricultura de precisión.

Tabla 4

Descripción de los sensores y actuadores más comunes.

Categoría	Componente	Componente	Descripción
Iluminación	Lámparas Fluorescentes		Lámparas que emiten luz a través de la excitación de gases en tubos.

Control Ambiental	Sensores de Humedad		Dispositivos que miden el nivel de humedad en el aire y el suelo.
	Sensores de Temperatura		Dispositivos que miden la temperatura del entorno.
	Sensores de pH		Dispositivos que miden el nivel de acidez o alcalinidad del suelo o solución nutritiva.
	Sensores de Luminosidad		Dispositivos que miden la cantidad de luz disponible en el entorno.
	Sensores de Calidad del Aire		Dispositivos que miden contaminantes y parámetros del aire, como CO2 y compuestos volátiles.
Ventilación	Ventiladores		Equipos que ayudan a circular el aire y mantener una ventilación adecuada.

**Riego y
Nutrición**

**Válvulas de
Control de Flujo**



Dispositivos que regulan el flujo de agua y nutrientes al suelo.

Fuente: (Menoni et al., 2023)

1.5. Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) son una tecnología avanzada y en crecimiento, crucial para la Internet del Futuro y aplicable ampliamente, especialmente en los Sistemas de Transporte Inteligente (STI). Las WSN consisten en redes de nodos sensores inalámbricos y económicos, capaces de detectar, procesar y distribuir información del entorno de manera colaborativa.

Estas redes ofrecen ventajas significativas en términos de coste y eficiencia, eliminando la necesidad de cableado y permitiendo aplicaciones de seguridad en tiempo real. Aunque se usan en STI, las WSN también deben considerarse parte de sistemas heterogéneos, cooperando con tecnologías como las VANET para mejorar la seguridad y la protección de especies en peligro (Losilla et al., 2011).

1.5.1. Aplicaciones de las WSN

Las WSN tienen un amplio rango de aplicaciones debido a sus características únicas.

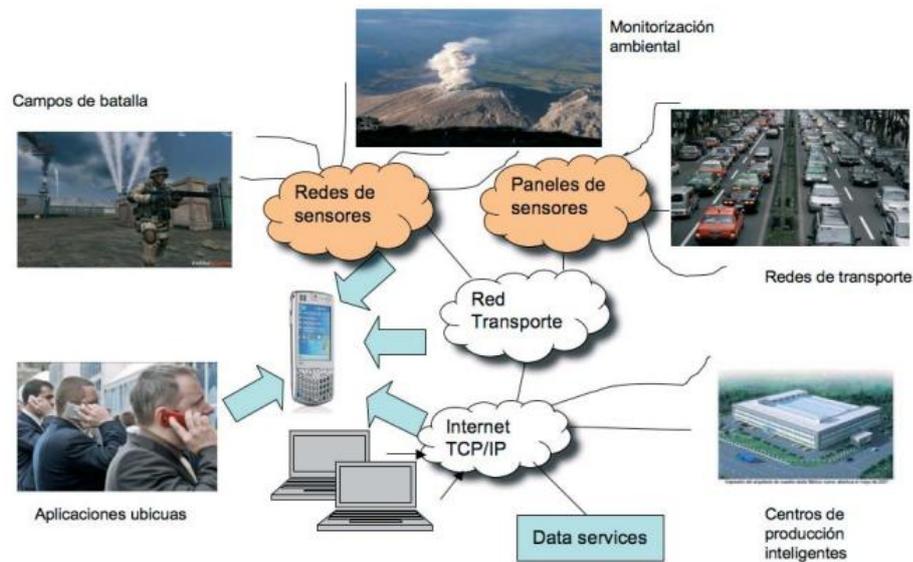
Algunas de las principales aplicaciones incluyen:

- Monitoreo Ambiental
- Agricultura de Precisión
- Salud y Medicina
- Redes de Transporte Inteligente (STI)
- Vigilancia y Seguridad

- Aplicaciones Ubicuas
- Campos de Batalla
- Centros de Producción Inteligentes

Figura 9

Principales aplicaciones de WSN



Fuente: Adaptado de (Beltrán & Franco, 2007).

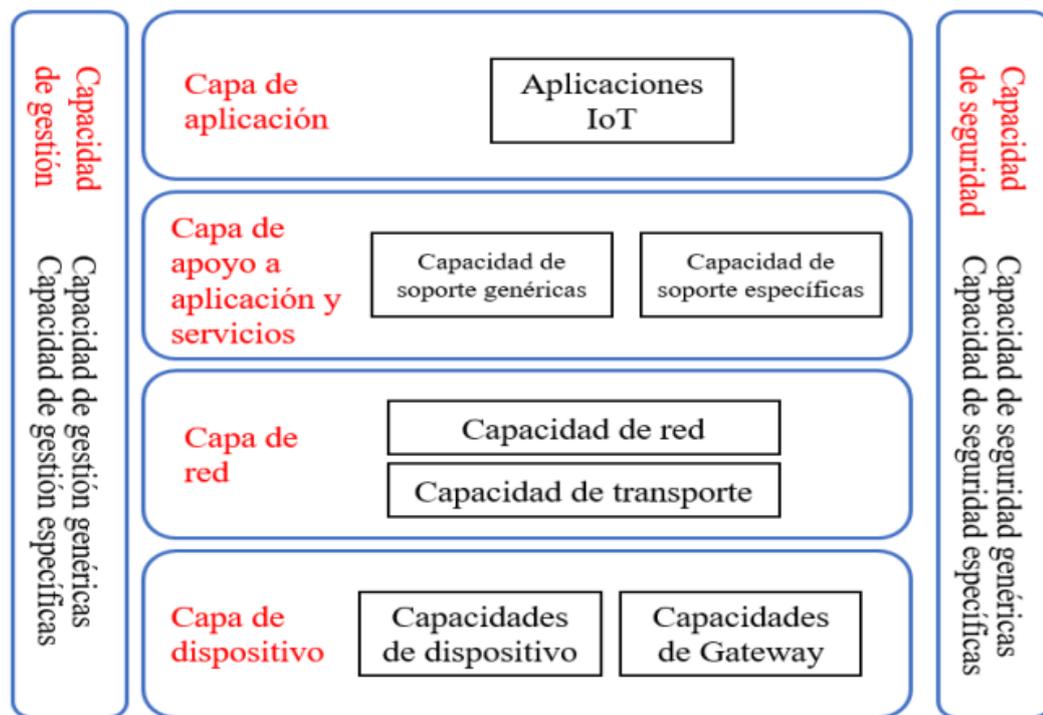
1.5.2. Arquitectura de WSN

Las aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) e Internet de las Cosas (IoT) tienen una arquitectura que determina la estructura tanto lógica como física de sus componentes, así como la manera en que estos interactúan para alcanzar los objetivos del sistema. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) describe una arquitectura típica para aplicaciones IoT que consta de cuatro capas: capa de aplicación, capa de soporte a servicios y aplicaciones, capa de red y capa de dispositivo; junto con dos módulos transversales: gestión y seguridad.

Sin embargo, esta no es la única arquitectura existente (ITU, 2012). Diversos investigadores y organizaciones han propuesto otras arquitecturas, tales como las desarrolladas por el European FP7 Research, el IoT World Forum y el Industrial Internet Consortium, por mencionar algunas.

Figura 10

Modelo de referencia de Arquitectura IOT



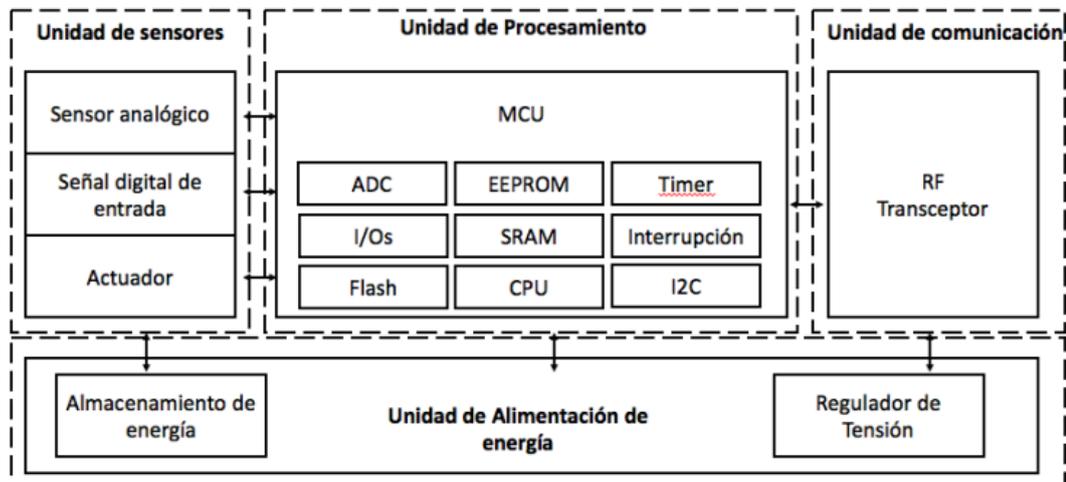
Fuente: (ITU-T Recommendation Database, 2012)

1.5.3. Estructura y componentes de un nodo sensor

Las redes de sensores inalámbricos consisten en dispositivos electrónicos de bajo costo y consumo de energía, diseñados para recopilar información del entorno, procesarla y transmitirla a otros nodos. Los nodos se clasifican según su función en la red en tres tipos: nodos sensores, nodos enrutadores y nodos gateway. La estructura básica de un nodo incluye una Unidad Central de Procesamiento (CPU), una interfaz de sensores, un transceptor de RF para la comunicación y un bloque de alimentación, como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Estructura de un nodo de comunicación inalámbrico



Fuente: (ITU-T Recommendation Database, 2012)

2.5.4. Módulos (WSN)

Los protocolos de transferencia en WSN son esenciales para garantizar una comunicación eficiente y confiable entre los nodos. Algunos de los protocolos más utilizados incluyen Zigbee, Bluetooth Low Energy (BLE) y 6LoWPAN. Estos protocolos están diseñados para soportar comunicaciones de bajo consumo energético y asegurar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos. Además, el uso de protocolos específicos permite la formación de redes ad hoc que se pueden reorganizar dinámicamente en respuesta a cambios en el entorno o fallos en los nodos individuales (Ojeda et al., 2023)

2.5.4.1. Tipos de módulos para redes de sensores inalámbricos (WSN)

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) se basan en módulos de Internet de las Cosas (IoT) como piezas vitales para facilitar el intercambio de datos y la comunicación entre dispositivos de una red dispersa. Estos módulos combinan sensores, fuentes de alimentación y tecnologías de comunicación para recopilar, procesar y transmitir datos con eficacia (Mora Magallanes & Rosas Pari, 2019).

Tabla 5*Tipos de Módulos para WSN*

Característica	Módulo Zigbee (XBee)	Módulo Wi-Fi (ESP8266)	Módulo Bluetooth (HC-05)	Módulo LoRa (SX1276)
Tipo de Comunicación	RF	RF	RF	RF
Estándares	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11 b/g/n	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Protocolos	Zigbee	Wi-Fi	Bluetooth	LoRaWAN
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	868/915 MHz
Ancho de Banda	250 kbps	Hasta 150 Mbps	1-3 Mbps	0.3-50 kbps
Consumo de Energía	Bajo	Medio	Bajo	Muy Bajo
Alcance	Hasta 100 metros	Hasta 100 metros	Hasta 10 metros	Hasta 10 km (línea de vista)
Latencia	Baja	Media	Baja	Baja
Escalabilidad	Alta	Media	Baja	Alta
Áreas de Aplicación	Hogares Inteligentes, Automatización Industrial	Acceso a Internet, Dispositivos IoT	Redes de Área Personal, Dispositivos Portátiles	Aplicaciones IoT de Largo Alcance, Agricultura

Fuente: Adaptado de (Pinto et al., 2023)

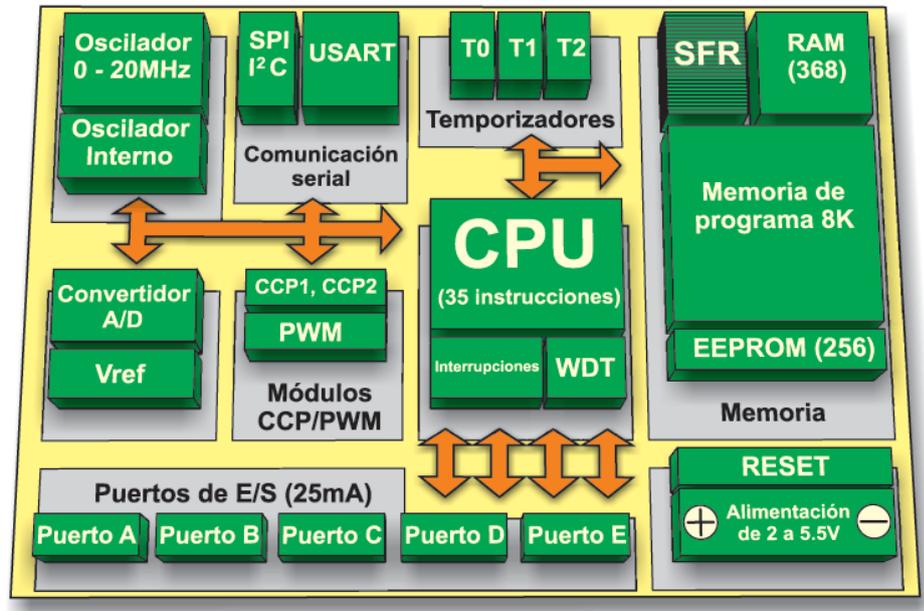
2.6. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que sirve como el núcleo de una aplicación embebida. Similar a una pequeña computadora, incluye sistemas para controlar entradas y salidas, un procesador y memoria (flash y RAM) para almacenar programas y variables. Su función principal es automatizar procesos y gestionar

información (Marmolejo, 2017). A continuación, la Figura 12 muestra la estructura interna de un microcontrolador.

Figura 12

Estructura general interna de un microcontrolador



Fuente: (Hernández, 2014)

- **RISC**

La arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer) se está popularizando en la industria de computadores y microcontroladores debido a su conjunto reducido de instrucciones simples, que generalmente se ejecutan en un solo ciclo de reloj (Aguayo, 2004).

- **ARM**

Es una arquitectura que sigue el concepto RISC, priorizando un uso eficiente de transistores para lograr un alto rendimiento y eficiencia energética. Creada por ARM Holdings, esta tecnología ha crecido significativamente en los últimos años. Inicialmente

se llamó Acorn RISC Machine y posteriormente se renombró a Advanced RISC Machine (Moreno et al., n.d.).

- **SISC**

Para aplicaciones específicas, los microcontroladores utilizan la filosofía SISC (Specific Instruction Set Computer), con un conjunto de instrucciones reducido y adaptado a las necesidades de la aplicación. Integran memoria de instrucciones y datos en el chip, con ROM para el programa y RAM para variables y datos temporales (Aguayo, 2004).

En los apartados anteriores, se han detallado las arquitecturas más relevantes de los microcontroladores, incluyendo RISC (Reduced Instruction Set Computer), CISC (Complex Instruction Set Computer) y ARM (Advanced RISC Machine). Estas arquitecturas forman la base del funcionamiento y diseño de los microcontroladores modernos. A continuación, se presenta una tabla que resume los componentes más importantes de un microcontrolador:

Tabla 6

Componentes importantes de un microcontrolador

Componente	Descripción
EPROM	Memoria programable y borrable que permite múltiples reprogramaciones mediante un grabador controlado por PC. El borrado se realiza con rayos ultravioleta a través de una ventana de cristal en el chip.
Puertas de E/S	Interfaces que permiten al procesador comunicarse con el exterior o con otros dispositivos, gestionando señales de entrada, salida y control mediante los pines del microprocesador.
Reloj Principal	Circuito oscilador que genera una señal de alta frecuencia para sincronizar todas las operaciones del sistema, avanzando el programa y los contadores. Necesita pocos componentes externos para estabilizar la frecuencia.
Convertor A/D	Dispositivo que convierte señales analógicas en datos digitales para su procesamiento, comúnmente incluye un multiplexor para recibir diversas señales analógicas desde los pines del chip.

Conversor D/A	Transforma datos digitales en señales analógicas, enviadas al exterior a través de los pines del chip, esencial para circuitos que operan con señales analógicas.
----------------------	---

Fuente: Adaptado de (Aguayo, 2004)

2.6.1. Lenguajes de Programación para microcontroladores

Los lenguajes de programación utilizados en microcontroladores deben ser eficientes y adecuados para el desarrollo de aplicaciones de software embebidas con recursos limitados. C y C++ son los lenguajes más comunes debido a su eficiencia y control sobre el hardware. Además, lenguajes como Python también se usan para la simulación y prueba de algoritmos debido a su facilidad de uso y extensas bibliotecas. La elección del lenguaje de programación impacta directamente en la eficiencia energética y la capacidad de procesamiento de los nodos de la red (Rawat et al., 2014).

2.6.1.1. Tipos de lenguajes de Programación

Los lenguajes de programación son herramientas esenciales para el desarrollo de software y sistemas de información. Cada lenguaje de programación tiene cualidades únicas y se adapta a diversos paradigmas de programación, que son enfoques o estilos para resolver problemas computacionales. Entre los paradigmas más populares están el imperativo, el funcional, el lógico y el orientado a objetos. Estos paradigmas influyen en la estructura, la sintaxis y la semántica de los lenguajes, determinando la forma en que los programadores diseñan y construyen sus programas (Sierra, 2018) .

Tabla 7*Características de los tipos de lenguajes de programación*

Lenguaje de Programación	Paradigma	Características Clave	Ejemplos de Uso
C	Imperativo, Procedural	Eficiente y rápido, acceso directo a memoria, ampliamente utilizado en sistemas operativos y software de sistemas.	Desarrollo de sistemas operativos, software embebido
Java	Orientado a Objetos	Portabilidad gracias a la JVM, robusto y seguro, multihilo, utilizado en aplicaciones empresariales, móviles y web.	Aplicaciones empresariales, desarrollo Android
Python	Imperativo, Orientado a Objetos, Funcional	Sintaxis simple y legible, amplia biblioteca estándar, adecuado para desarrollo web, ciencia de datos y scripting.	Desarrollo web (Django, Flask), análisis de datos
Haskell	Funcional	Evita efectos secundarios, énfasis en la pureza funcional, fuerte sistema de tipos, adecuado para la investigación y desarrollo de software fiable.	Investigación académica, desarrollo de compiladores
C++	Imperativo, Orientado a Objetos	Extiende C con características de orientación a objetos, eficiente y rápido, utilizado en software de alto rendimiento y videojuegos.	Desarrollo de videojuegos, aplicaciones de alto rendimiento
Ruby	Orientado a Objetos	Sintaxis sencilla y elegante, enfoque en la simplicidad y productividad, utilizado en desarrollo web.	Desarrollo web (Ruby on Rails)

*Fuente: Tomado de (Sierra, 2018).***2.6.2. Aprendizaje de Máquina en microcontroladores**

Tom M. Mitchell define el aprendizaje de máquina como una disciplina que se centra en la creación de programas de computadora que mejoran su rendimiento en una tarea

específica mediante la experiencia (Nilsson, 1998). Esta área se basa en conceptos provenientes de varias disciplinas, incluyendo inteligencia artificial, estadística y probabilidad, teoría de la información, psicología, neurobiología, teoría de control y complejidad computacional. Según (Viera & Viera, 2017), para implementar un enfoque de aprendizaje de máquina es necesario tomar varias decisiones, tales como la elección del tipo de entrenamiento, la definición de la función objetivo a aprender, su representación y el algoritmo para aprender dicha función a partir de ejemplos de entrenamiento.

2.6.2.1 Aprendizaje Supervisado

El aprendizaje supervisado es una técnica de aprendizaje automático donde un algoritmo aprende de un conjunto de datos etiquetados para hacer predicciones o clasificaciones. Durante el entrenamiento, el algoritmo recibe datos de entrada junto con las salidas correspondientes, ajustando su modelo para minimizar el error en las predicciones. Este enfoque se utiliza en diversas aplicaciones como la detección de spam, el reconocimiento de imágenes y la predicción de precios. Por ejemplo, un modelo puede aprender a predecir el precio de una vivienda basándose en características como la ubicación y el tamaño (IMB, 2022)

2.6.2.2. Aprendizaje no Supervisado

El aprendizaje no supervisado trabaja con datos que no están etiquetados, buscando identificar patrones o estructuras ocultas en los datos sin una guía previa sobre las salidas esperadas. Se utiliza en tareas como la agrupación (clustering) y la reducción de dimensionalidad. Ejemplos comunes incluyen el algoritmo k-means para la agrupación y el análisis de componentes principales (PCA) para la reducción de dimensionalidad (Sarker, 2021).

2.6.2.3. Aprendizaje de Transferencia

El aprendizaje de transferencia utiliza el conocimiento adquirido en una tarea previa para mejorar el rendimiento en una nueva tarea relacionada. Este enfoque es útil cuando hay

poca información disponible para la nueva tarea, pero existe un modelo previamente entrenado en una tarea similar. Se aplica comúnmente en campos como el procesamiento del lenguaje natural y el reconocimiento de imágenes, donde modelos pre entrenados en grandes conjuntos de datos pueden adaptarse a tareas específicas con menos datos (Mehreen, 2017).

Capítulo III: Diseño del Sistema

En esta sección, se presenta el desarrollo de la propuesta utilizando la metodología de "Investigación-Acción". Esta metodología se centra en que el investigador identifica y diagnostica problemas potenciales, y a lo largo del desarrollo, implementa soluciones basadas en ese diagnóstico inicial. Seda inicio con el análisis de los requerimientos y las especificaciones del sistema, seguido del diseño del prototipo, la identificación de los componentes del proyecto, la elaboración de diagramas de flujo y de bloques, y finalmente, el análisis de los datos recolectados.

3.1. Metodología

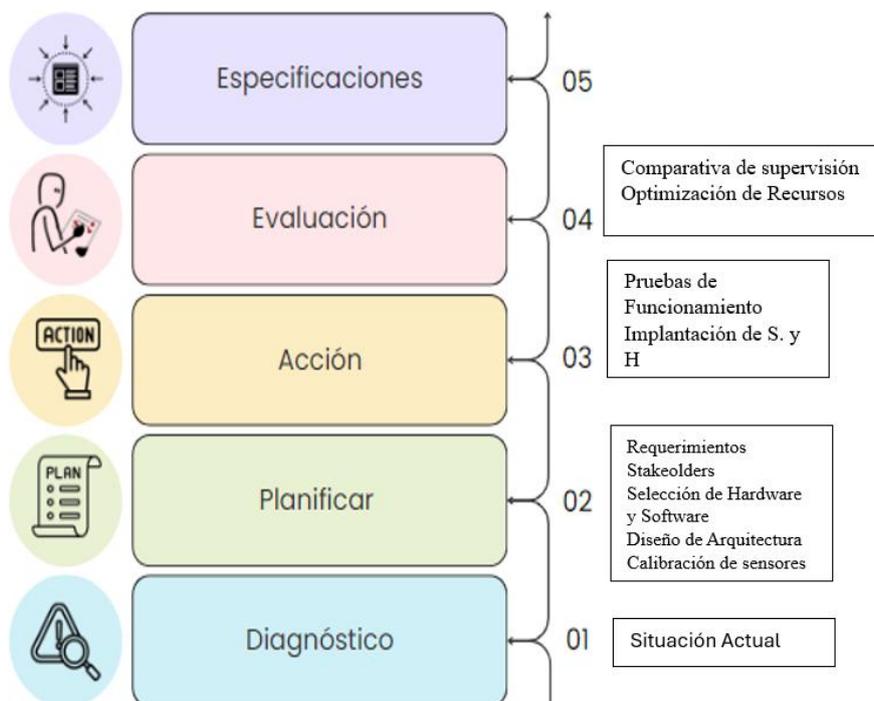
Para el presente proyecto, se emplea la metodología de "Investigación-Acción", también conocida como "Action Research". Este enfoque metodológico es un término genérico que describe cualquier proceso guiado por un ciclo iterativo. El investigador busca mejorar la práctica a través de un ciclo sistemático de acción y reflexión, generando nuevas soluciones durante el proceso. La metodología incluye un ciclo de vida del proyecto con varias fases: identificación, planificación, implementación y evaluación de cambios, todo con el objetivo de mejorar la práctica y el entendimiento del campo investigado (Muñoz, 2008).

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema autónomo de control y supervisión en condiciones interiores, utilizando técnicas avanzadas de aprendizaje automático aplicadas a cultivos indoor. Este sistema determinará el tamaño adecuado de cada uno de los cultivos propuestos, como la albahaca y el orégano. En la siguiente figura se muestra cómo se llevarán

a cabo las fases respectivas de la metodología y la validación de cada una de sus etapas, que se detallarán a lo largo de este documento.

Figura 13

Metodología Action Research



Fuente: Adaptado de (Contreras et al., 2017)

Este enfoque implica un proceso cíclico que incluye la planificación, la implementación, la reflexión y el ajuste de las acciones basadas en los datos obtenidos (Muñoz, 2008), a continuación, se dará detalle a cada una de estas cuatro etapas.

- **DIAGNÓSTICO:** En esta sección se elabora una planificación basada en un estudio de investigación previo, utilizando diversas herramientas para obtener soluciones eficaces que permitan alcanzar los objetivos establecidos (Villegas, 2024).
- **PLANIFICAR:** En este apartado se llevan a cabo diversas pruebas individuales de los componentes del proyecto, con el fin de recolectar, recopilar y organizar los datos obtenidos. Este enfoque permite gestionar de manera integral y ordenada los resultados correspondientes. Asimismo, se utilizan herramientas clave para verificar cada etapa

del trabajo, y en caso de detectarse algún error, se procede a mejorar la idea principal (Villegas, 2024).

- **ACCIÓN:** Se integran diversos tipos de tareas planificadas dentro del marco de observaciones previas, lo cual nos permite proporcionar soluciones que cumplen con el objetivo planteado de materialización (Villegas, 2024).
- **EVALUACIÓN:** En este último segmento, se realizan pruebas individuales de los bloques que se integran en el proyecto, depurando todo tipo de errores para garantizar un manejo íntegro de los datos y obtener la información deseada. La herramienta principal es la verificación y el funcionamiento de cada una de las etapas de trabajo. En caso de presentarse algún problema, se procede a mejorar la idea principal (Villegas, 2024).

Esta metodología es extremadamente flexible, lo que resulta ventajoso, ya que permite a los investigadores ajustar su análisis según sus necesidades específicas e implementar modificaciones prácticas. Además, es una herramienta que ofrece un enfoque inmediato y adaptable para resolver problemas complejos, proponiendo soluciones breves y eficaces en lugar de sugerir estrategias complejas y a largo plazo (Tegan, 2024).

Sin embargo, esta metodología presenta algunas dificultades. Su misma flexibilidad limita su capacidad de generalización, lo que dificulta su replicación. Además, enfrenta otros desafíos, como la necesidad de tiempo y recursos, ya que requiere múltiples interacciones de planificación, acción y observación para alcanzar los objetivos deseados. La complejidad de los contextos del mundo real también puede dificultar la implementación de cambios y la observación de sus efectos. Finalmente, la capacidad de generalización puede restringir la medida en que los diseñadores pueden aplicar los hallazgos obtenidos a otros contextos (Baskerville & Wood-Harper, 1996; Di Mascio & Tarantino, 2016).

3.2. Etapa Diagnóstico

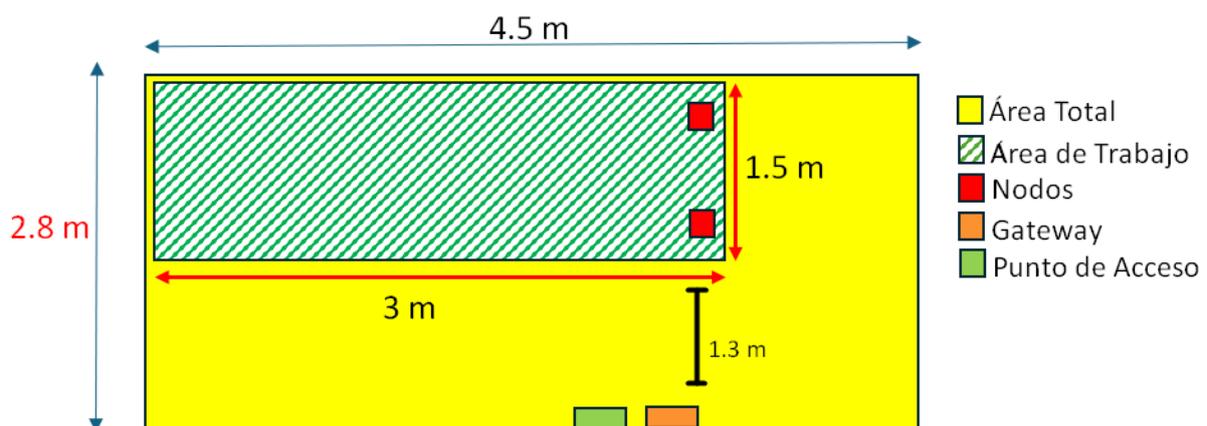
La primera etapa de la metodología "Action Research" es el diagnóstico, en el cual se realiza un análisis de la situación actual de los cultivos en interiores (indoor) en Ecuador, con un enfoque específico en las plantas medicinales y los estudios relacionados con la integración de sensores de precisión. Estos sensores se utilizan para monitorear el estado de crecimiento de las plantas y sus valores nutricionales, aplicando técnicas avanzadas de precisión.

3.2.1. Situación Actual

La investigación se centra actualmente en la zona urbana de la parroquia "Santo Domingo", perteneciente al Cantón Antonio Ante. El estudio se llevará a cabo en una vivienda situada en las calles "Los Laureles y Geranios", donde se destinarán 4.5 m² para el desarrollo e implementación del proyecto, el cual se puede observar en la figura 14. Este espacio, ilustrado en la figura 14, será acondicionado como un ambiente cerrado para asegurar que las condiciones climáticas externas no interfieran con el desarrollo de la investigación. Se ha tomado en cuenta la distribución de la superficie en metros cuadrados para cada cultivo, considerando que cada uno requiere un espacio adecuado para su óptimo crecimiento.

Figura 14

Distribución del Área de trabajo para el sistema de Cultivo Indoor.



Fuente: Autoría

Además, se recopila información de investigadores alineados con el objetivo general y los objetivos específicos. En este contexto, se observa que en Ecuador hay una baja implementación de cultivos en interiores e hidropónicos, lo cual es problemático dado que estas técnicas ofrecen numerosos beneficios y no se están aprovechando adecuadamente debido a la falta de promoción de huertos urbanos. Asimismo, se sabe que las plantas medicinales son una de las categorías menos estudiadas, debido a la prevalencia de la medicina moderna.

A raíz de la pandemia de COVID-19 y la preocupación por la salud de la población en Ecuador, el Ministerio de Salud Pública emitió en 2020 directrices sobre la higiene alimentaria. Estas directrices describen cómo deben manipularse los alimentos, asegurarse de su inocuidad y limpieza, y desinfectarse. No obstante, en la práctica, esto no siempre se cumple. Este inconveniente se debe al mal desempeño de comerciantes e intermediarios que no priorizan la salud de los consumidores. Esta situación provoca inseguridad alimentaria, una preocupación importante en la actualidad debido al desconocimiento sobre la manipulación de vegetales, frutas, tubérculos, entre otros. Después de ser vendidos, estos productos son consumidos y, en los peores casos, pueden causar problemas de salud en los consumidores.

Con base en lo mencionado anteriormente, se lleva a cabo la planificación y el análisis para la mejora e innovación de esta área productiva. Este proyecto de investigación tiene como objetivo optimizar los beneficios del cultivo en espacios interiores reducidos utilizando soluciones nutritivas y medicinales. Se aplican tecnologías y técnicas de inteligencia artificial para proporcionar un enfoque proactivo adicional a esta metodología.

3.2.2. Especies seleccionadas para el sistema inteligente

En el marco de este proyecto se seleccionaron dos especies de plantas medicinales: albahaca (*Ocimum basilicum*) y orégano (*Origanum vulgare*), debido a su amplia utilización en la medicina tradicional ecuatoriana, especialmente en zonas rurales de la provincia de Imbabura. Ambas especies poseen propiedades digestivas, antiinflamatorias y antimicrobianas

ampliamente reconocidas, lo que las convierte en candidatas relevantes para el monitoreo automatizado y la optimización de cultivos indoor, incluso, presentan características fisiológicas compatibles con el sistema de control ambiental propuesto, permitiendo medir variables clave como temperatura, humedad, calidad del aire y luminosidad en diferentes fases de crecimiento.

3.3. Etapa planificar

En esta fase, se pone especial atención en las subetapas necesarias para definir y aclarar el proyecto. Se comienza con el establecimiento de los requisitos necesarios para crear una estructura de proyecto, con la colaboración de expertos en las áreas pertinentes. Con estos requisitos, se seleccionan los componentes que se utilizarán en el sistema. Luego, se procede a la adquisición de estos componentes para adaptarlos al entorno de la investigación. Esta planificación se lleva a cabo de manera meticulosa y sistemática para asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el ítem 1.3.

3.4. Requerimientos

El proyecto requiere diversos factores para alcanzar un rendimiento óptimo. Estos factores están actualizados con la más reciente actualización del estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018, el cual detalla las especificaciones necesarias para los procesos en la implementación de proyectos de sistemas artificiales. Además, abarca productos de software y hardware, así como servicios asociados a sistemas y productos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Se priorizan los criterios del usuario en relación con los requerimientos del proyecto, con un enfoque especial en el diseño, la implementación y el desempeño del sistema.

3.5. Nomenclatura de los Requerimientos

La Tabla 8 resalta las abreviaturas y acrónimos empleados para mejorar la comprensión y la fluidez de los términos en el texto. Incluye todos los requisitos necesarios del sistema, así como los requerimientos específicos.

Tabla 8*Términos Abreviados y Acrónimos para el Análisis de Requisitos*

Acrónimos y Abreviados	Descripción
StSR	Requerimientos de Stakeholders
SySR	Requerimientos del Sistema
SRSR	Requerimientos de Hardware y Software

Fuente: (ISO/IEC/IEEE, 2018)

3.6. Requerimientos de Stakeholders

Para llevar a cabo el proyecto, se definen las especificaciones técnicas de los requisitos basándose en una mesa de trabajo organizada por el Msc. Luis Suárez, Especialista Técnico en Sistemas Inteligentes. Como fruto de este esfuerzo, se obtuvieron las siguientes especificaciones: una clasificación de prioridades en alta, media y baja, de acuerdo con la relevancia de los requisitos del sistema, las precauciones necesarias y los detalles del requisito (véase la Tabla 9).

Tabla 9*Priorización de los Requerimientos para el Sistema*

Prioridad	Descripción
Alta	Considera un nivel de suma importancia para el excelente funcionamiento del sistema.
Media	Estos requisitos se pueden omitir en condiciones extremas, pero no incluirlos afectarían parcialmente al sistema.
Baja	Pueden ser omitidos, no repercuten un impacto en el correcto funcionamiento del sistema.

Fuente: (Guevara, 2022)

3.6.1. Listado de Stakeholders

Un stakeholder es cualquier grupo o individuo con un interés directo en los resultados del proyecto. La definición de los requerimientos del stakeholder (StSR) tiene como objetivo identificar los requisitos de los interesados en el sistema. La Tabla 6 detalla los stakeholders

que desempeñan un papel crucial con diferentes niveles de compromiso y responsabilidad, buscando la manera más efectiva de asegurar el éxito del proyecto.

Tabla 10

Lista de Stakeholders del proyecto

Nº	Lista de Stakeholders
1.	Ing. Luis Suárez - Tutor del Proyecto de Tesis
2.	Ing. Carlos Vásquez - Asesor del Proyecto de Tesis
3.	Srta. Gabriela Caragulla - Desarrolladora del Proyecto
4.	Ing. Oswaldo Cárdenas - Agrónomo, Experto en Cultivos Hidropónicos - Indoor

Fuente: Autoría

3.6.2. Requerimientos Operacionales y de Usuario

Antes de proceder con el diseño del sistema, es fundamental tener en cuenta ciertos requisitos esenciales tanto de los stakeholders como para el adecuado funcionamiento del sistema. La Tabla 11 presenta las especificaciones imprescindibles para satisfacer los requisitos operacionales y de usuario que componen el proyecto.

Tabla 11

Requerimientos Operacionales y de Usuario

		StSR		
#	Requerimiento	PRIORIDAD		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES				
StSR1	El sistema debe ser implementado en un lugar cerrado con poca iluminación.	X		
StSR2	El sistema deberá capturar los valores nutricionales del suelo (humedad, calidad del suelo) en intervalos de tiempo definidos, con un margen de error mínimo.	X		
StSR3	El sistema debe contar con una conexión estable y constante de Internet para la comunicación entre Gateway y nodos sensores.	X		

StSR4	Se requiere una conexión a corriente eficiente que permita el funcionamiento continuo del sistema para establecer una transmisión inalámbrica de datos eficiente.	X
StSR5	El sistema debe estar en funcionamiento, durante 3 días a la semana de forma continua.	X

REQUERIMIENTOS DE USUARIO

StSR6	El usuario del sistema puede monitorear en tiempo real los datos y el estado nutricional del suelo a través de una aplicación móvil.	X
StSR7	El dispositivo del usuario debe tener un sistema operativo compatible con la aplicación desarrollada (Android).	X
StSR8	Las dimensiones del sistema deben ser flexibles para ambientes urbanos, y para áreas reducidas con poco espacio.	X

Fuente: Autoría

3.6.3. Requerimientos del Sistema

Los requisitos del sistema abarcan las funcionalidades que este debe poseer, incluyendo también los requerimientos para su uso, interfaces, nodos y estado físico, como se detalla en la Tabla 12. Esto permite definir con precisión las necesidades del sistema.

Tabla 12

Requerimientos del Funcionamiento del Sistema

#	Requerimiento	SySR		
		Alta	Media	Baja

REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ

SySR1	La interfaz debe permitir configurar alertas y notificaciones en caso de que los valores de los sensores superen un umbral definido por el usuario.	X
SySR2	La interfaz debe estar diseñada específicamente para dispositivos móviles, para optimizar la interacción y visualización en pantallas de smartphones	X
SySR3	La interfaz de la aplicación móvil debe ser amigable para el usuario, intuitiva y fácil de usar para el usuario.	X
SySR4	El sistema debe incluir una interfaz de actualización en tiempo real para la visualización de datos,	X

	mediante la integración a una base de datos en la nube.	
SySR5	La interfaz debe permitir la visualización de gráficos interactivos que muestren tendencias de los datos de los sensores.	X
REQUERIMIENTOS DE USO		
SySR6	La obtención de datos debe realizarse de manera rápida y precisa.	X
SySR7	Los procesos deben ser sostenibles a largo plazo y evitar la saturación.	X
SySR8	El sistema deberá ser sencillo de utilizar e implementar en espacios cerrados.	X
SySR9	La conexión del sistema debe tener un convertor de 110Vcc a 5Vcc-12Vcc o una alimentación continua.	X
REQUERIMIENTOS DE ESTADO		
SySR10	El sistema debe estar en funcionamiento continuo.	X
SySR11	El sistema debe operar de manera automática para llevar a cabo su funcionamiento.	X
REQUERIMIENTOS FÍSICOS		
SySR12	El sistema debe contar con suficiente capacidad de almacenamiento para prevenir saturaciones o colapsos.	X
SySR13	Los nodos secundarios deben colocarse en un lugar estratégico para evitar interferencias en la transmisión.	X
SySR14	Realizar pruebas comparativas entre el sistema propuesto y un cultivo tradicional, evaluando su rendimiento	X
SySR15	El sistema debe estar compuesto de materiales de alta durabilidad para asegurar su proyección a largo plazo.	X
REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD		
SySR16	Los sensores deben ser capaces de sumergirse en fluidos.	X

Fuente: Autoría

3.6.4. Requerimientos de Arquitectura del Sistema

Para los requisitos de la arquitectura, la Tabla 13 presenta los detalles del diseño necesarios para el funcionamiento en términos de software, hardware y componentes eléctricos.

Este análisis permitirá seleccionar y adquirir los componentes apropiados que cumplan con las necesidades de manera sincrónica.

Tabla 13. *Requerimientos de Arquitectura del Sistema*

SRSH		
#	Requerimiento	Prioridad
		Alta Media Baja
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE		
SRSH1	El sistema deberá utilizar lenguajes de programación de código abierto y con flexibilidad de uso para dispositivos móviles.	X
SRSH2	Se necesita una base de datos que opere de manera rápida y segura.	X
SRSH3	Se necesita compatibilidad entre el nodo cliente y el nodo de procesamiento.	X
SRSH4	Se necesita que el software funcione con aprendizaje automático en tiempo real.	X
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE		
SRSH5	Es necesario contar con un sensor que pueda medir la calidad del agua.	X
SRSH6	Se requiere un sensor que pueda detectar la humedad del suelo.	X
SRSH7	Es necesario un sensor que pueda detectar La calidad de aire del sistema.	X
SRSH8	Es necesario un sensor que mida la temperatura de manera continua.	X
SRSH9	El sistema necesita ventilación constante para el mantenimiento de sus cultivos.	X
SRSH10	El sistema debe contar con iluminación LED adecuada en el espectro óptimo para favorecer el crecimiento de los cultivos.	X
SRSH11	El sistema debe contar con la potencia suficiente para el procesamiento de información en tiempo real	X
SRSH12	El nodo secundario necesita un expansor PCB de tamaño reducido que aloje los módulos de los sensores.	X
SRSH13	El sistema necesita al menos 4 entradas analógicas para los sensores nutricionales.	X
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS		
SRSH14	Fuente de alimentación a 5 - 12 voltios.	X

SRSH15 Conexión a GND y VCC para el funcionamiento de los componentes del sistema X

REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD

SRSH16 Para la red de sensores, es necesario diseñar una caja que brinde protección contra los elementos climáticos. X

SRSH17 El sistema deberá estar protegido en una caja de revisión segura para evitar manipulaciones, resguardando los cables y placas del sistema. X

REQUERIMIENTOS DE ALMACENAMIENTO

SRSH18 Para el procesamiento de datos se requiere una memoria RAM del Gateway de al menos 4 GB, y un almacenamiento de 32 GB. X

SRSH19 La plataforma de almacenamiento debe ser de código abierto compatible con la herramienta de desarrollo de la APP. X

Fuente: Autoría

3.7. Selección de Hardware y Software

Una vez definidos los requisitos según los Stakeholders, se procede a la elección y selección del hardware y software utilizando una tabla comparativa que describe los equipos y programas a utilizar. Se asigna una valoración de 0 o 1 (0: no cumple, 1: cumple) a cada especificación. Luego, se seleccionan los componentes con las valoraciones más altas para asegurar que se cumplan los requisitos del proyecto.

3.7.1. Elección de Hardware

La selección del hardware se ha definido considerando varios componentes fundamentales, como la placa central o Gateway y las placas nodo, así como diferentes sensores que permitirán monitorear las condiciones del entorno. Entre estos se incluyen un sensor de temperatura, un sensor de calidad del aire, un sensor de humedad, un sensor de pH del agua y un sensor de tiempo de luminosidad. Cada uno de estos dispositivos juega un papel clave para garantizar la recolección precisa de datos y el correcto funcionamiento del sistema.

3.7.1.1. Elección de Nodo Sensor

En esta sección se procederá con la selección de la placa para los nodos sensores, que se encargarán de recolectar los datos del entorno. La prioridad en la elección de la placa se ha basado en su capacidad de procesamiento de los datos recopilados por los sensores, el número de pines disponibles para su conectividad, y su tecnología inalámbrica.

Tabla 14

Elección de Nodo Sensor

Hardware	Requerimientos							Valoración	
	StSR3	StSR4	SYSR6	SYSR9	SYSR13	SRSH12	SRSH13		SRSH14
ESP32	1	1	1	1	1	1	1	1	8
ESP32-Lora	1	1	0	1	1	1	1	1	7
Arduino Mega 2560	0	1	0	1	0	1	1	1	5
Cumple “1”									
No Cumple “0”									
Elección: ESP32-Lora									

Fuente: Autoría

En la Tabla 15 se presentan las características técnicas de las placas de nodo sensor, incluyendo aspectos como la alimentación, capacidad de procesamiento, tecnología inalámbrica y microcontrolador, junto con sus respectivos precios. Esta información permite realizar una selección informada de la placa que mejor se ajuste a las necesidades del sistema.

Tabla 15

Selección de hardware nodo sensor

MODELOS		
ESP32-DEVKITC32D	ESP32-Lora	Arduino Mega 2560

CARACTERÍSTICAS



Microcontrolador	Dual-core 32 bits	Lx7 Dual-core 32 bits	ATmega2560
Voltaje de Operación	2.3V a 3.6V	2.7V a 6V	5V
Voltaje Recomendado	3.3V	3.3V	7-12V
Velocidad de Reloj	240MHz	240MHz	16MHz
Entrada/Salida (Digital)	34 GPIO	28 GPIO	54 GPIO
Entrada/Salida (Analógico)	18 ADCs	9 ADC/DAC	16 ADCs
Memoria	520KB SRAM	512KB SRAM	8KB SRAM
Conectividad Inalámbrica	Wifi (802.11 b/g/n)	Wifi (802.11 b/g/n)	No cuenta
Compatibilidad con Raspberry	Si	Si	Si
Dimensión	18*25.5*3.10mm	50.2*25.5*10.2mm	101.52*53.3mm
Precio	\$19	\$35	\$53

Fuente: Autoría

Se ha seleccionado la placa ESP32-DEVKITC32D, un microcontrolador de 32 bits con doble núcleo. Esta elección se realizó de manera meticulosa tras un análisis de costo-beneficio, en comparación con otras opciones, como la ESP32 LoRa. Aunque ambas placas comparten características similares, la ESP32-DEVKITC32D ofrece un microcontrolador más actualizado, lo que garantiza un rendimiento sin inconvenientes. Además, su amplio número de pines analógicos permite la conexión de una gran cantidad de sensores, siendo este un factor clave para las necesidades del sistema.

3.7.1.2. Elección de la Placa de Procesamiento

Dado que es necesaria la comunicación inalámbrica entre los nodos sensores y el nodo central (gateway), se realizó una comparación entre distintos microprocesadores, considerando

su capacidad de procesamiento y su eficiencia en el manejo de datos en tiempo real. Estos datos serán posteriormente almacenados en la base de datos correspondiente. A continuación, en la Tabla 16, se presentan las características lógicas que deben cumplir para integrarse adecuadamente en el sistema.

Tabla 16

Elección de Placa de Procesamiento

Hardware	Requerimientos											Valoración	
	StSR3	StSR5	SySR2	SySR4	SySR7	SySR9	SySR10	SRSH3	SRSH11	SRSH18	SRSH19		Wifi Int.
Raspberry pi 3	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	9
Raspberry pi 4	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	10
Orange pi 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Cumple “1”													
No Cumple “0”													
Elección: Orange pi 5													

Fuente: Autoría

De acuerdo con la Tabla 16, y considerando las características lógicas, la placa de procesamiento más adecuada es la Orange Pi 5. A continuación, se procederá a la selección de esta placa basándose en sus características técnicas, las cuales deben ajustarse a las necesidades del sistema. En particular, se toma en cuenta la cantidad de datos que deben procesarse, así como la integración de algoritmos de inteligencia artificial (IA) para el análisis y manejo eficiente de dichos datos.

Tabla 17

Selección de placa Procesadora

MODELOS		
Raspberry pi 3	Raspberry pi 4	Orange pi 5



CARACTERÍSTICAS

Procesador	Cortex-A53 de 64 bits	Quad-core ARM Cortex-A72	Quad-core A76
Frecuencias de Reloj	1.4 GHz	1.5 GHz	2.4GHz
Memoria	1 GB LPDDR2 SDRAM	1GB, 2GB, 4GB y 8GB de LPDDR4 RAM	4GB, 8GB o 16GB LPDDR5
Tecnología Wifi	IEEE 802.11b/g/n/ac	Wi-Fi 802.11 b/g/n/ac	Wi-Fi 802.11 ac (dual-band)
Conectividad inalámbrica	Dual-band (2.4 GHz y 5 GHz)	Dual-band (2.4 GHz y 5 GHz)	Wi-Fi 5 y Bluetooth 5.0 con soporte BLE
Conectividad de Red	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet con soporte PoE
Puertos	4 USB 2.0 1 HDMI de tamaño completo 1 MIPI DSI (display) 1 MIPI CSI (cámara) 1 puerto de video compuesto y salida de audio estéreo de 4 polos.	2 puertos USB 3.0 y 2 puertos USB 2.0 2 micro-HDMI (soporta hasta 4Kp60) 1 puerto de cámara (CSI, 2 carriles MIPI) 1 puerto de pantalla (DSI, 2 carriles MIPI) 40 pines GPIO	2 USB 3.0 2 USB 2.0 2 micro-HDMI (4Kp60) 1 PCIe 2.0 x1 CSI/DSI 40 GPIO
Alimentación	5V/2.5A	5V/3A	5V/5A
Compatibilidad para procesar IA	Puede ejecutar TensorFlow Lite	Puede ejecutar TensorFlow Lite	Compatible con módulos externos de IA vía PCIe
Dimensión	85 mm × 56 mm	85 mm × 56 mm	85 mm × 56 mm
Precio	\$80	\$120	\$160

Fuente: Autoría

Con base en las características descritas en la Tabla 17, se observa que las tres placas analizadas comparten muchas similitudes. Sin embargo, la placa seleccionada, Raspberry Pi 5, se destaca por su alto rendimiento de procesamiento gracias al núcleo ARM Cortex-A76 a 2.4

GHz y la posibilidad de expansión a través de un puerto PCIe, lo cual permite integrar módulos especializados de inteligencia artificial en caso de ser requerido. Esta capacidad de expansión ofrece flexibilidad para aplicaciones futuras sin comprometer el rendimiento general del sistema ni sobrecargar la placa durante el procesamiento de datos recolectados por los sensores.

3.7.1.3. Elección de Sensor de Humedad

Una vez seleccionados los nodos sensores y el Gateway, se procede con la elección de los sensores que formarán parte del sistema de cultivo. Comenzaremos con el sensor de humedad del suelo, considerando tres tipos diferentes de sensores, desde un modelo básico hasta uno de nivel profesional. Estos serán analizados en la Tabla 18, donde cada sensor será evaluado según los parámetros de requerimientos especificados.

Tabla 18

Elección de sensor de humedad del suelo

Hardware	Requerimientos								Valoración
	SySR6	SySR8	SySR9	SySR13	SySR15	SySR16	SRSH1	SRSH6	
FC-28	1	1	1	1	0	0	1	1	6
YL-69	1	1	1	1	0	0	1	1	6
Sensor Capacitivo Cumple "1" No Cumple "0"	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Elección: Sensor Capacitivo V2.0									

Fuente: Autoría

Según los datos detallados en la Tabla 18 y las características lógicas evaluadas, se ha seleccionado el sensor capacitivo V1.2. A continuación, se procederá a validar esta selección considerando sus especificaciones técnicas, que deben adecuarse a los requerimientos del sistema. En este proceso, se presta especial atención a la durabilidad del sensor y a su compatibilidad con el nodo sensor.

Tabla 19*Selección de sensor de Humedad de Suelo*

CARACTERÍSTICAS	MODELOS		
	FC-28	YL-69	Sensor Capacitivo V2.0
Tipo de Sensor	Resistivo	Resistivo	Capacitivo
Voltaje de Operación	3.33 – 5V	3.33 – 5V	3.33 – 5V
Salida de Voltaje	0 – 4.2V (Aprox)	0 – 4.2V (Aprox)	0 – 3.0V
Corriente de Operación	10 mA	10mA	5mA
Resistencia a la Corrosión	No	No	Si
Dimensiones	60 x 20 mm	60 x 20 mm	98 x 23 mm
Interfaz de conexión	PH2.0-3P	PH2.0-3P	PH2.54-3P
Durabilidad en suelos Húmedos	Baja	Baja	Alta (resistente a corrosión)
Fiabilidad	Alta	Alta	Alta
Vida Útil			
Precio	\$3.5	\$4	\$5

Fuente: Autoría

Según las características descritas en la Tabla 19, se observa que los tres sensores analizados presentan varias similitudes. Sin embargo, se ha seleccionado el sensor capacitivo de suelo V2.0, que destaca por su durabilidad estimada de 3 a 4 años, dependiendo del uso. Este sensor ofrece una resistencia superior a la corrosión, lo que significa que puede adaptarse eficazmente a cambios en las condiciones del suelo, incluso en ambientes con alta humedad.

3.7.1.4. Elección de Sensor de Calidad de Aire

En un sistema de cultivo indoor, es fundamental considerar la calidad del aire, ya que, al tratarse de un ambiente cerrado, es necesario controlar las variables ambientales. Para este

propósito, se utiliza un sensor de calidad de aire. En la tabla a continuación, se presenta un análisis comparativo de tres tipos de sensores, con el fin de seleccionar el que mejor se ajuste a los requisitos del sistema.

Tabla 20

Elección de sensor de Calidad de Aire

Hardware	Requerimientos								Valoración
	SySR6	SySR8	SySR9	SySR13	SySR15	SySR16	SRSH1	SRSH7	
DSM501A	1	1	1	1	0	0	1	1	6
SDS011	1	1	1	1	0	0	1	1	6
MQ-135	1	1	1	1	1	0	1	1	7
Cumple “1”									
No Cumple “0”									
Elección: MQ-135									

Fuente: Autoría

Según los datos detallados en la Tabla 20 y las características lógicas evaluadas, se ha seleccionado el sensor MQ135. A continuación, se procederá a validar esta selección considerando sus especificaciones técnicas, que deben adecuarse a los requerimientos del sistema. En este proceso, se presta especial atención a su disponibilidad en el mercado, su precio accesible y su funcionalidad para detectar gases como amoníaco, sulfuro y benceno, que son críticos para el monitoreo ambiental. Además, se destaca la facilidad de integración del MQ135 con el nodo sensor, lo cual garantiza una compatibilidad óptima y una configuración simplificada en el sistema final.

Tabla 21*Selección de sensor de Calidad de Aire*

CARACTERÍSTICAS	MODELOS		
	DSM501	SDS011	MQ135
			
Tipo de Sensor	Sensor de partículas	Sensor de partículas	Sensor de gas (amoníaco, sulfuro)
Voltaje de Operación	5V \pm 10 %	5V	5V
Consumo de corriente	90mA	70mA	110mA
Salida	Ajustable	UART y PWM	PWM
Rango de Medición	10–1000 ppm para gases	0.3–10 μ m en concentración	1 μ m hasta 1.4 mg/m ³
Rango de Temperatura de operación	20°C \pm 2°C	-10°C a 50°C	-10°C a 65°C
Material sensible	Dióxido de estaño (SnO ₂)	Sensor láser	LED y fotodiodo
Pre calentamiento	Alta	Bajo	Bajo
Tamaño	59 x 45 x 20 mm	71 x 70 x 23 mm	32mm x 22mm x 24mm.
Precio	\$25	\$45	\$5

Fuente: Autoría

Por otro lado, las características descritas en la Tabla 21, se observa que los tres sensores analizados presentan varias similitudes. Sin embargo, se ha seleccionado el sensor MQ135, que destaca por su sensibilidad y versatilidad en la detección de gases tóxicos. Este sensor ofrece un rendimiento confiable y una excelente capacidad de adaptación en ambientes de monitoreo de calidad del aire, incluso en presencia de múltiples compuestos. Su bajo costo y fácil integración en sistemas basados en Arduino lo hacen una opción ideal para el proyecto

3.7.1.5. Elección de Sensor de Temperatura

La Tabla 22 presenta los sensores de temperatura más utilizados en el mercado para monitoreo ambiental, detallando sus principales características y cómo se ajustan a los requerimientos del sistema.

Tabla 22

Elección de Sensor de Temperatura Ambiental

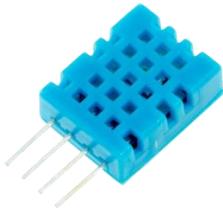
Hardware	Requerimientos								Valoración
	SySR6	SySR8	SySR9	SySR13	SySR15	SySR16	SRSH1	SRSH8	
DHT11	1	1	1	1	0	0	1	1	6
DHT22 (AM2302)	1	1	1	1	1	0	1	1	7
TMP36	1	1	1	1	0	0	1	1	6
Cumple “1”									
No Cumple “0”									
Elección: DHT22(AM2302)									

Fuente: Autoría

En la siguiente tabla se presenta un análisis detallado de las características técnicas de los tres sensores evaluados, considerando factores como precisión, rango de operación, consumo energético y tipo de salida. Este análisis proporciona una visión más clara y fundamentada sobre la selección realizada, confirmando la adecuación del sensor elegido para los requerimientos específicos del sistema.

Tabla 23

Selección de Sensor de Temperatura para Cultivos

	MODELOS		
	DHT11	DHT22 (AM2302)	TMP36
CARACTERÍSTICAS			

Rango de temperatura	0°C a 50°C	-40°C a 80°C	-40°C a 125°C
Precisión de temperatura	±2°C	±0.5°C	±1°C (típico)
Resolución	1°C	0.1°C	0.1°C
Rango de voltaje	3V a 5.5V	3.3V a 6V	2.7V a 5.5V
Consumo de corriente	0.5mA a 2.5mA	1.5mA (medición)	<50 µA (bajo consumo)
Tipo de salida	Digital, comunicación de un solo hilo	Digital, comunicación de un solo hilo	Analógica (10mV/°C)
Intervalo de muestreo	1 s	2 s	Instantáneo
Tamaño	14x18x5.5mm	22x28x5mm	SOIC-8, SOT-23
Precio	\$3	\$8	\$6

Fuente: Autoría

El sensor DHT22 ofrece la mejor precisión de temperatura ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) y un amplio rango de operación (-40°C a 80°C), lo que lo hace más adecuado para aplicaciones de monitoreo ambiental con exigencias de precisión.

3.7.1.6. Elección de Sensor de Luz

Un sensor de luminosidad facilita la medición de la intensidad lumínica, asegurando que las plantas reciban la cantidad óptima para su crecimiento. A continuación, en la Tabla 24 se presenta los sensores de luminosidad más utilizados en el mercado para monitoreo ambiental con sus respectivas características lógicas.

Tabla 24

Elección de sensor de Luminosidad

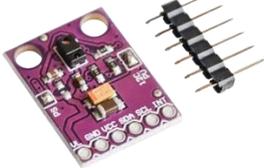
Hardware	Requerimientos								Valoración
	SySR6	SySR8	SySR9	SySR13	SySR15	SySR16	SRSH1	SRSH10	
LDR (NORP12)	1	1	1	1	0	0	1	1	6
BH1750	1	1	1	1	1	0	1	1	7
APDS-9960	1	1	1	1	0	0	1	1	6
Cumple "1"									
No Cumple "0"									
Elección: BH1750									

Fuente: Autoría

El análisis detallado de las características técnicas de los tres sensores evaluados permite observar factores como tipo de salida, rango de operación, precisión, consumo de corriente y tiempo de respuesta. Este enfoque proporciona una comprensión más clara y fundamentada sobre cada sensor, lo que facilita confirmar la selección adecuada para cumplir con los requerimientos específicos del sistema en términos de rendimiento y eficiencia.

Tabla 25

Selección de sensor de Luminosidad

CARACTERÍSTICAS	MODELOS		
	LDR(NORP12)	BH1750	APDS-9960
			
Tipo de Salida	Analógica	Digital (I2C)	Digital (I2C)
Rango de Operación	0 lux a 30,000 lux	1 lux a 65,535 lux	0 a 60,000 lux
Precisión	Baja, depende de condiciones externas	±20%	Alta, incluye filtros UV
Resolución	Variables	1 lux	Configurable, hasta 16 bits
Voltaje de Operación	3V a 5V	2.4V a 3.6V	2.4V a 3.6V
Consumo de Corriente	<1 mA	120 µA (en operación)	~250 µA (ALS activo)
Tiempo de Respuesta	48 ms (descenso)	120 ms (H-Res Mode)	Rápido (gestión programable)
Tamaño	Depende del encapsulado	3.9 x 1.7 x 1.3 mm	3.94 x 2.36 x 1.35 mm
Precio	\$3	\$4	\$14

Fuente: Autoría

El BH1750 proporciona una combinación perfecta de precisión, facilidad de uso, rango amplio y consumo energético eficiente, lo que lo convierte en la mejor elección para medir iluminación en entornos ambientales.

3.7.1.7. Elección de Sensor TDS

La medición de los sólidos totales disueltos en el agua es esencial en un sistema de cultivo, ya que influye directamente en la nutrición de las plantas. A continuación, se evaluarán tres tipos de sensores de TDS para identificar el que ofrezca una medición precisa y estable en condiciones de uso continuo.

Tabla 26

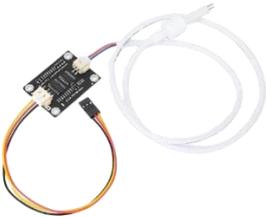
Elección de Sensor TDS

Hardware	Requerimientos							Valoración	
	SvSR6	SySR8	SySR9	SySR13	SySR15	SySR16	SRSH1		SRSH5
KS0429 Meter V1.0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
SEN0244	1	1	1	1	0	1	1	1	7
Cumple “1”									
No Cumple “0”									
Elección: KS0429 Meter V1.0									

Fuente: Autoría

En la tabla anterior se expusieron las características lógicas del sensor TDS, permitiendo identificar la opción más alineada a los requerimientos específicos del sistema. A partir de esta selección preliminar, se procede a presentar un análisis comparativo de las propiedades técnicas de ambos sensores, con el objetivo de verificar la adecuación de la elección realizada. Esta revisión se enfoca en parámetros críticos de desempeño y compatibilidad.

Tabla 27*Elección de Sensor TDS*

CARACTERÍSTICAS	MODELOS	
	KS0429 TDS Meter V1.0	SEN0244
		
Voltaje de Operación	3.3V a 5.5V	3.3V a 5.5V
Voltaje de Salida	0V a 2.3V	0V a 2.3V
Rango de Modificación	0 a 1000 ppm	0 a 1000 ppm
Precisión	±10% a 25°C	±10% a 25°C
Consumo de corriente	3 mA a 6 mA	3 mA a 6 mA
Longitud del electrodo	60 cm	83 cm
Conector del electrodo	XH2.54-2P	XH2.54-2P
Interfaz del módulo	XH2.54-3P	PH2.0-3P
Facilidad de uso	Plug and play, compatible con Arduino	Plug and play, compatible con Arduino
Precio	\$25	\$80

Fuente: Autoría

El sensor KS0429 TDS Meter V1.0 se selecciona por sus características técnicas que ofrecen una funcionalidad adecuada a un costo significativamente menor en comparación con el SEN0244. Aunque ambos sensores son similares en rango de medición y precisión, el KS0429 destaca por su precio accesible y facilidad de integración en sistemas basados en Arduino.

3.7.1.8. Elección de Ventiladores

Para la selección de ventiladores, es fundamental considerar diversos factores, entre ellos el voltaje requerido por cada uno, dado que el sistema se compone de dos niveles, destinados a cultivos diferentes. En cada nivel se deberán instalar dos ventiladores, asegurando

una ventilación adecuada para cada cultivo. A continuación, la tabla muestra los requisitos que deben cumplirse para una selección óptima de los ventiladores.

Tabla 28

Elección de Ventilador

Hardware	Requerimientos								Valoración
	SySR6	SySR8	SySR9	SySR13	SySR15	SySR16	SRSH9	SRSH14	
Ventilador 5V	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Ventilador 12V	1	1	1	1	1	1	1	1	8

Cumple "1"
No Cumple "0"
Elección: Ventilador 12V

Fuente: Autoría

Se han identificado los requerimientos que cumple cada ventilador, observando que ambos presentan características similares en su funcionamiento. Sin embargo, a través del análisis detallado de sus especificaciones técnicas, es posible realizar una selección más informada. Factores como potencia, voltaje de operación y eficiencia energética son determinantes para elegir el ventilador que mejor se adapte a las necesidades específicas del sistema, garantizando un rendimiento óptimo y confiable, a continuación, se presentan las características técnicas de los dos tipos de ventiladores.

Tabla 29

Selección de ventilador DC

MODELOS		
	Ventilador 5V	Ventilador 12V
CARACTERÍSTICAS		
Voltaje de Operación	5V DC	12V DC
Consumo de Corriente	0.3A	90mA

Potencia	0.72W	1.2W
Velocidad de Giro	4500 rpm	4600 rpm
Flujo de Aire	11.2 CFM (aproximado)	16.9 m ³ /h (aproximado)
Presión Estática	0.13 inH ₂ O	0.10 inH ₂ O
Nivel de Ruido	26 dB	25 dB
Tipo de Rodamiento	Cojinete de manga	Rodamiento de bolas
Peso	20g	18g
Precio	\$5	\$7

Fuente: Autoría

El ventilador de 12V es la opción recomendada para el sistema, debido a su mayor durabilidad, eficiencia energética y protección adicional contra el ambiente. Estas características lo hacen ideal para sistemas de ventilación en aplicaciones críticas donde la confiabilidad y el bajo mantenimiento son esenciales.

3.7.1.9. Elección de Electroválvulas

Para la elección de las electroválvulas es esencial considerar aspectos como la capacidad de flujo del líquido que pasará a través de ellas, el tipo de aplicación y las condiciones específicas del sistema en el que se integrarán. A continuación, se presenta una tabla con las características y criterios que deben cumplir estos componentes para un desempeño óptimo.

Tabla 30

Elección de Electroválvula

Hardware	Requerimientos								Valoración
	SySR6	SySR8	SySR9	SySR13	SySR15	SySR16	SRSH12	SRSH14	
Electroválvula de 12V DC	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Electroválvula de 24V DC	1	1	1	1	1	1	1	0	7
Cumple "1"									
No Cumple "0"									
Elección: Electroválvula de 12V DC									

Fuente: Autoría

Una vez identificados los requerimientos que deben cumplir las electroválvulas para el sistema de cultivo, se presentan en la Tabla 31, las características técnicas de manera detallada. Este análisis permite evaluar con precisión los parámetros clave que garantizan la funcionalidad y eficiencia de los componentes seleccionados.

Tabla 31

Selección de Electroválvula DC

CARACTERÍSTICAS	MODELOS	
	Electroválvula 12V DC	Electroválvula 24V DC
		
Voltaje de Operación	12V DC	24V DC
Diámetro de entrada/salida	1/2" o 3/4"	1/2" o 1"
Material del cuerpo	Plástico resistente a la corrosión o latón	Latón o acero inoxidable
Tipo de funcionamiento	Normalmente cerrada (NC)	Normalmente cerrada (NC)
Capacidad de flujo	0.3 a 10 L/min	0.5 a 15 L/min
Presión de operación	0.02 a 0.8 MPa	0.02 a 1.0 MPa
Consumo de corriente	250-300 mA	150-200 mA
Compatibilidad	Compatible con fuentes estándar de 12V DC	Compatible con sistemas de mayor voltaje, requiere adaptador
Precio	\$13	\$40

Fuente: Autoría

La electroválvula de 12V es más compatible con fuentes de alimentación estándar y sistemas de microcontroladores como Arduino y Raspberry Pi, que suelen operar a 5V o 12V. Su capacidad de flujo y presión es adecuada para sistemas de riego inteligentes indoor de hierbas o plantas pequeñas como albahaca y orégano.

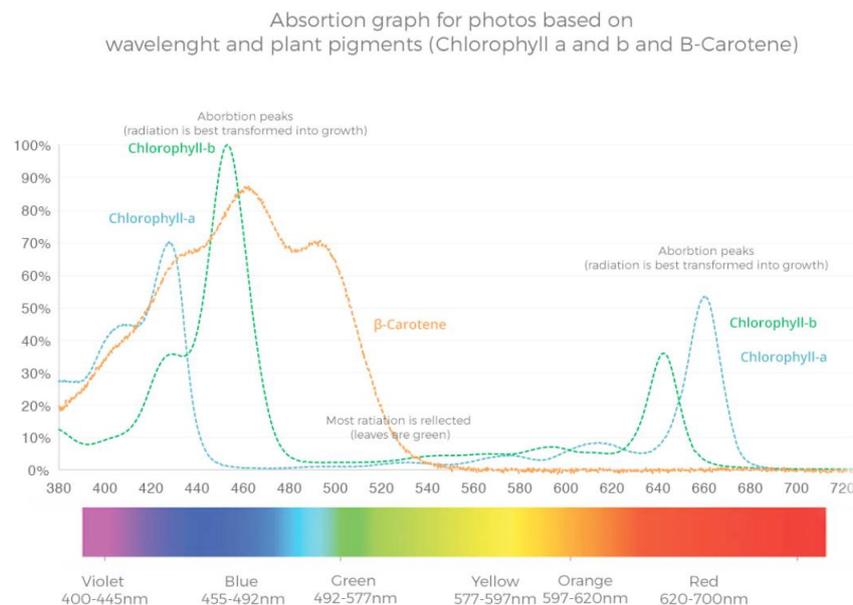
3.7.1.10. Elección de Tipo de LEDS para Cultivos

Para la selección de la iluminación adecuada para este tipo de cultivos, es crucial considerar cómo diferentes longitudes de onda dentro del espectro de luz influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En este contexto, la siguiente ilustración presentada permite observar los picos de absorción de los principales pigmentos fotosintéticos, como la clorofila-a, clorofila-b y el β -caroteno. Además, se destaca la relevancia de las luces violáceas, las cuales abarcan el rango de 400 a 445 nm.

Este espectro es fundamental para estimular la fotosíntesis en etapas iniciales, potenciar la producción de compuestos secundarios como antioxidantes y flavonoides, y promover un crecimiento estructural robusto y compacto. Combinadas con los rangos azul y rojo, las luces violáceas proporcionan un espectro balanceado que maximiza el rendimiento de cultivos como el orégano y la albahaca, mejorando tanto su calidad como su resistencia.

Figura 15

Absorción basada en la longitud de onda y los pigmentos de las plantas (Clorofila a y b y β -Caroteno).



Fuente: (Luministrip, 2022)

A continuación, se presentarán las características comparativas de tres tipos de luces LED: rojas, azules y violáceas. Estas luces, al emitir longitudes de onda específicas dentro del espectro visible, desempeñan roles clave en el desarrollo y crecimiento de las plantas, proporcionando una base sólida para seleccionar la iluminación más adecuada para cultivos específicos.

Tabla 32

Selección de Iluminación LED para plantas.

CARACTERÍSTICAS	MODELOS		
	LED Roja	LED Azul	LED Fucsia
			
Tamaño	Depende del encapsulado	3.9 x 1.7 x 1.3 mm	3.94 x 2.36 x 1.35 mm
Espectro de Luz	620-660 nm (rojo profundo)	580-600 nm	Mezcla de 450 nm (azul) y 660 nm (rojo)
Impacto en el crecimiento	Estimula la fotosíntesis, mejora el crecimiento vegetativo y la floración	Poco impacto en fotosíntesis, útil solo como luz de relleno	Estimula la fotosíntesis, ideal para etapas de crecimiento y floración
Uso típico en cultivos	Fase de floración y fructificación	Poca relevancia para cultivos, pero puede combinarse con otros colores	Ideal para fases de crecimiento vegetativo y floración
Eficiencia energética	Alta	Moderada	Alta
Intensidad recomendada	10-20 W/m ²	10 W/m ²	10-20 W/m ²
Distancia recomendada	20-30 cm de las plantas	20-30 cm de las plantas	20-30 cm de las plantas

Efecto en la morfología	Promueve un crecimiento compacto y robusto	Bajo efecto en la morfología	Promueve un crecimiento equilibrado, con buen desarrollo de hojas
Precio	\$30	\$30	\$30

Fuente: Autoría

3.8. Elección de Software

En esta sección se llevará a cabo la selección del software que se implementará en el sistema completo. Este proceso considera los diferentes requerimientos establecidos previamente, los cuales garantizan que las herramientas seleccionadas sean las más adecuadas para cumplir con las funcionalidades del sistema. Entre estos aspectos se incluyen la recolección de datos de los sensores, el almacenamiento eficiente en una base de datos, el procesamiento y clasificación de la información, y la presentación de los resultados de manera accesible a través de una aplicación móvil.

3.8.1. Selección de lenguaje de Programación para Sensores

Para la selección del lenguaje de programación destinado a la configuración y comunicación con los sensores, se considera el uso de lenguajes de programación basados en C. Estos lenguajes son ampliamente reconocidos por su compatibilidad con las plataformas empleadas y su eficiencia en el manejo de hardware. En la siguiente tabla se presentan los criterios y requerimientos clave que se deben cumplir para garantizar una selección adecuada y alineada a las necesidades del sistema.

Tabla 33

Selección de Lenguaje de Programación para Sensores

Software	Requerimientos			Valoración
	SRSH1	SRSH3	SRSH4	
Lenguaje C	1	1	1	3
Lenguaje Python	1	1	1	3
Lenguaje Java	1	1	1	3

Cumple “1”
No Cumple “0”
Elección: Lenguaje C

Fuente: Autoría

Con base en la Tabla 33, se han evaluado tres tipos de lenguajes de programación adecuados para los sensores, los cuales presentan características similares en términos de funcionalidad y compatibilidad. Sin embargo, es fundamental considerar la facilidad y comodidad en el proceso de programación, especialmente porque el desarrollo se llevará a cabo en la plataforma Arduino, cuya estructura de código fuente se basa en el lenguaje C. Por este motivo, se ha seleccionado el lenguaje C como la opción más adecuada para este sistema.

3.8.2. Selección de lenguaje de Programación para Procesamiento

Para la selección del lenguaje de procesamiento, se realizará un análisis basado en los requerimientos específicos del sistema, la compatibilidad con los nodos correspondientes y la facilidad para la obtención y manejo de los datos. En la Tabla siguiente, se presentan dos opciones de lenguajes de programación para procesamiento, los cuales serán evaluados en detalle para determinar la opción más adecuada según las necesidades del proyecto.

Tabla 34

Selección de Lenguajes de Programación para Bloque de Procesamiento

Software	Requerimientos			Valoración
	SRSH1	SRSH2	SRSH4	
Lenguaje Python	1	1	1	3
Lenguaje Java	1	1	0	2

Cumple “1”
No Cumple “0”
Elección: Lenguaje Python

Fuente: Autoría

Luego de concluir el análisis de los requerimientos de software establecidos para el lenguaje de procesamiento, se determinó que Python es la opción más adecuada. Esta selección se basa en su capacidad para cumplir con todos los criterios definidos, incluyendo su naturaleza

de código abierto, flexibilidad para dispositivos móviles, y soporte para aprendizaje automático en tiempo real.

3.8.3. Software Bloque de Almacenamiento

Una vez seleccionados los lenguajes de programación que se utilizarán en el sistema, el siguiente paso es determinar la plataforma de almacenamiento para los datos. Para esta elección, se consideran los requerimientos específicos que dicha plataforma debe cumplir, los cuales se detallan en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 35

Selección de Plataforma de Almacenamiento

Software	Requerimientos			Valoración
	SR3	SR2	SR19	
Firestore Realtime Database	1	1	1	3
MySQL Cumple "1" No Cumple "0"	1	1	0	2
Elección: Firestore Realtime Database				

Fuente: Autoría

Tras analizar las opciones, se ha seleccionado Firestore Realtime Database debido a su compatibilidad con plataformas de desarrollo de aplicaciones móviles. Su capacidad de sincronización en tiempo real, almacenamiento eficiente en la nube y facilidad de integración la convierten en la opción ideal para gestionar los datos del sistema de manera segura y accesible.

3.8.4. Software Bloque del Procesamiento

Para la selección del algoritmo más adecuado para este sistema, es fundamental realizar un análisis basado en los requerimientos previamente establecidos. En el caso del sistema de cultivos interiores, es imprescindible determinar la mejor manera de recolectar y procesar los datos, garantizando que estos sean depurados y organizados de forma eficiente antes de su

análisis. Por lo tanto, el algoritmo seleccionado debe cumplir con las especificaciones necesarias para asegurar datos limpios y proporcionar la información deseada de manera precisa y confiable.

Tabla 36

Selección de Algoritmo de Procesamiento

Software	Requerimientos			Valoración
	SRSH1	SRSH2	SRSH4	
Random Forest	1	1	1	3
Regresión Lineal	1	1	0	2
Cumple "1"				
No Cumple "0"				
Elección: Random Forest				

Fuente: Autoría

Luego de considerar las diferentes opciones disponibles y considerando los requerimientos del sistema, se ha seleccionado el algoritmo Random Forest debido a su robustez, versatilidad y facilidad de implementación. Este algoritmo es capaz de manejar datos ruidosos, realizar tareas de clasificación para depurar información, y generar predicciones precisas, como la altura y el tamaño de las hojas en los cultivos. Además, su compatibilidad con bibliotecas como Scikit-learn en Python simplifica su programación y tratamiento.

3.8.5. Software Bloque de Visualización

Concluida la selección del algoritmo de procesamiento, los resultados obtenidos, incluyendo la proyección del tamaño de las plantas, los datos recolectados y el estado del cultivo, deberán visualizarse en una plataforma accesible. Para este propósito, se desarrollará una aplicación móvil utilizando IONIC Angular, herramienta seleccionada por cumplir con los requerimientos establecidos y garantizar una interfaz funcional y sencilla para los usuarios.

Tabla 37*Selección de Interfaz de Visualización*

Software	Requerimientos					Valoración
	SySR2	SySR3	SySR4	SySR5	SRSH19	
ONIC Angular Cumple “1” No Cumple “0” Elección: IONIC Angular	1	1	1	1	1	5

Fuente: Autoría

3.8.6. Software Bloque de Alerta

Finalmente, para el bloque de alertas se ha seleccionado la plataforma Telegram debido a su facilidad de uso, versatilidad y compatibilidad con sistemas IoT. Telegram permite la integración eficiente de notificaciones en tiempo real, lo que resulta ideal para supervisar el sistema de cultivo. Además, su capacidad para crear bots personalizados facilita la configuración de alertas específicas relacionadas con el estado del cultivo, el rendimiento de los sensores y posibles incidencias, asegurando una comunicación rápida y efectiva con los usuarios.

3.9. Diseño Estructural del Sistema

Para diseñar y construir la parte estructural del sistema, se realizó un análisis del crecimiento de las plantas de albahaca y orégano hasta su estado de madurez, lo que permitió aproximar las dimensiones necesarias para cada nivel del sistema indoor. Se diseñó una estructura metálica con dimensiones de 1.80 m de alto, 3.00 m de largo y 1.50 m de ancho. La estructura consta de dos niveles con una separación de 40 cm entre ellos, proporcionando el espacio necesario para el desarrollo adecuado de cada fila de cultivo.

Cada caja destinada a contener la tierra tiene una profundidad de 25 cm, de los cuales 20 cm estarán llenos de tierra, mientras que los 5 cm restantes se reservan para la siembra de

las plantas y para alojar la manguera de riego que pasará entre los cultivos, asegurando una distribución eficiente del agua.

Figura 16

Diseño Estructural del cultivo Indoor



Fuente: Autoría

Como complemento, en la Figura 17 se presenta el diagrama estructural del sistema, generado mediante una herramienta de modelado 3D. Este bosquejo digital proporciona una visualización precisa de la estructura y servirá como base para su construcción futura.

Figura 17

Diseño Estructural Final del Sistema de Cultivo Indoor



Fuente: Autoría

3.10. Diseño del Sistema

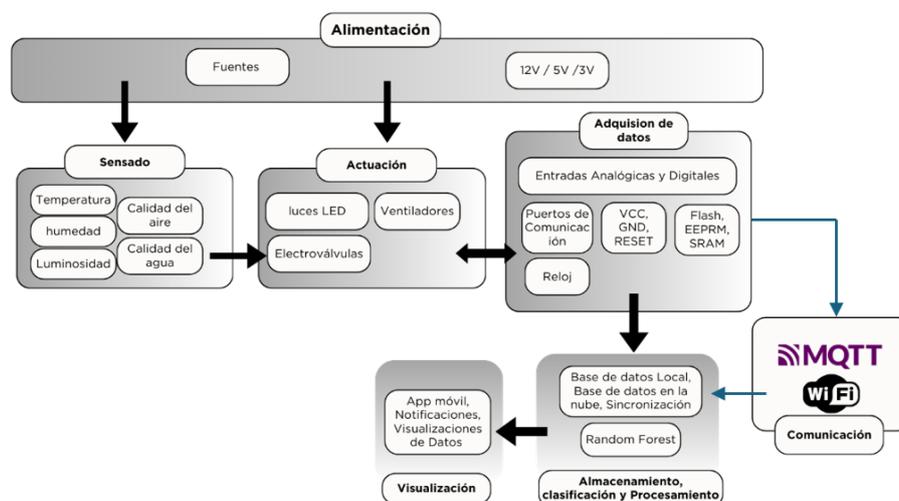
A través de un análisis detallado y la recopilación de información relevante, se procede a la selección de los componentes que conformarán el proyecto. Como punto de partida, se elabora el diseño del diagrama de bloques general del sistema, lo que permite obtener una visión estructurada y clara del funcionamiento integral. Este apartado incluye los diferentes diagramas de bloques correspondientes a cada área funcional del proyecto. Además, se presentan los diagramas de circuitos, los diagramas de flujo y el desarrollo del software, acompañados de las pruebas necesarias para asegurar su correcto desempeño.

3.10.1. Diagrama de bloques del Sistema

En este apartado se presenta el diagrama de bloques correspondiente al sistema en desarrollo. En la Figura 18 se ilustra la estructura general del sistema, desglosando cada uno de los bloques que lo conforman. Cada bloque desempeña un papel fundamental en el funcionamiento del sistema, integrando los componentes necesarios para garantizar su operatividad. Esta representación permite visualizar de manera clara y organizada la interacción entre las distintas áreas funcionales y sus respectivos elementos.

Figura 18

Diagrama de Bloques del Sistema Indoor



Fuente: Autoría

- **Bloque de Alimentación:** Este bloque es el encargado de proporcionar la energía necesaria al sistema. Se define el tipo de voltaje según los equipos que se van a alimentar: 12V para ventiladores, luces LED y electroválvulas; 5V para las placas y nodos; y 3V, provenientes de los nodos, para alimentar los sensores.
- **Bloque de Sensado:** Este bloque se encarga de recolectar los datos del entorno mediante sensores instalados en el sistema. Las variables monitoreadas incluyen: temperatura, humedad, calidad del aire, calidad del agua y luminosidad, información que es fundamental para el funcionamiento del sistema.
- **Bloque de Actuación:** Aquí se controlan los dispositivos que actúan sobre el entorno del cultivo. Estos actuadores pueden funcionar de manera automática, en respuesta a los datos recolectados, o manual, según las necesidades del usuario.
- **Bloque de Adquisición de Datos:** Este bloque recibe, organiza y gestiona los datos recolectados por los sensores. Además, se encarga de enviar órdenes a los actuadores según las especificaciones establecidas.
- **Bloque de Almacenamiento, Clasificación y Procesamiento:** Este bloque es responsable de guardar, clasificar y analizar los datos. Los datos se almacenan en una base de datos local y en la nube para sincronización y respaldo. Posteriormente, se procesan utilizando el algoritmo de procesamiento, el cual permite generar predicciones sobre el tamaño de las plantas y hojas.
- **Bloque de Visualización:** Este bloque permite monitorear y visualizar los resultados obtenidos del procesamiento. La información es presentada a través de una aplicación móvil. Además, se implementan notificaciones de alerta en caso de la detección de fallos del sistema.

En cuanto a la relación del diagrama de bloques mostrado en la Figura 18, el sistema inicia con el bloque de alimentación, que distribuye la energía a los sensores,

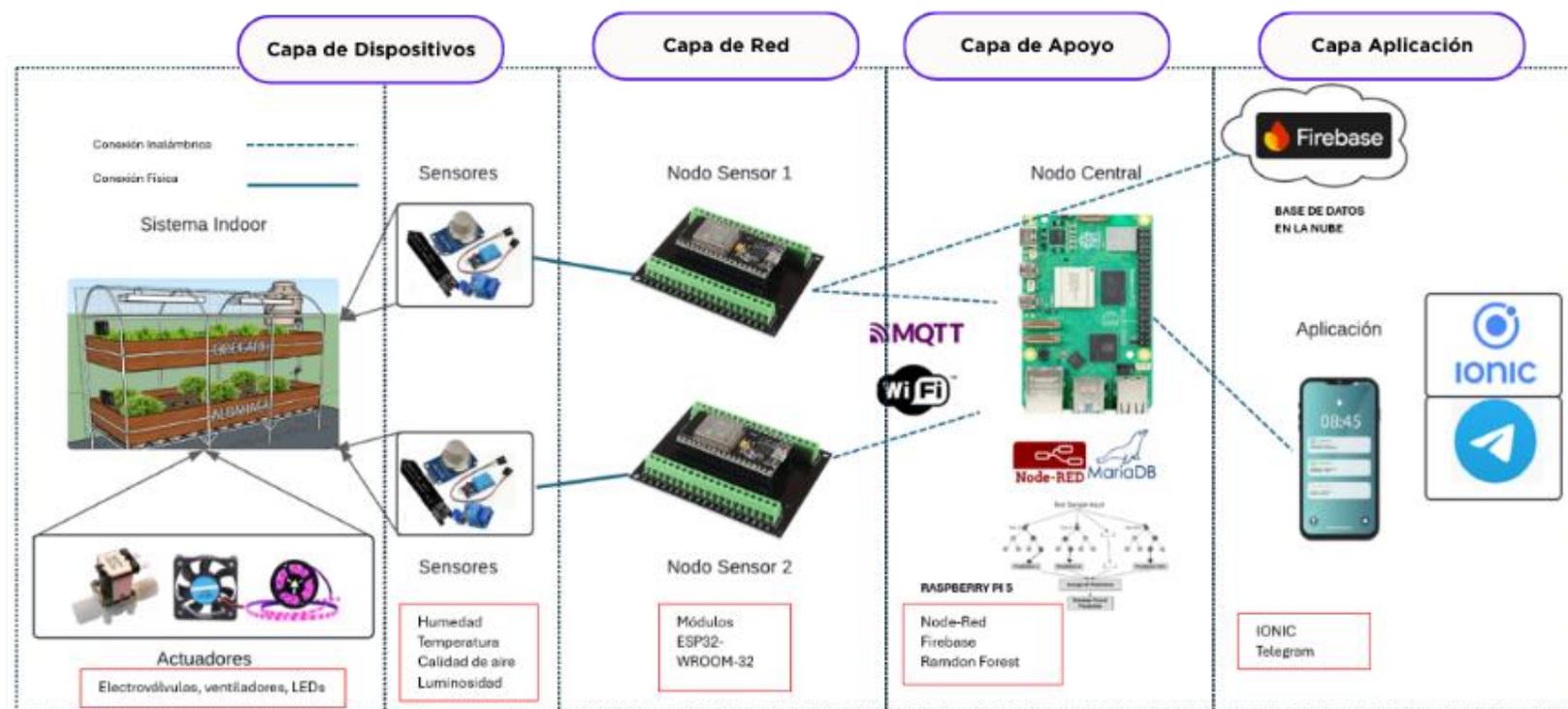
nodos y actuadores según sus requerimientos de voltaje. A continuación, el bloque de sensado recopila las variables ambientales (temperatura, humedad, calidad del aire, calidad del agua y luminosidad) mediante los sensores instalados. Estos datos son enviados al bloque de adquisición de datos, donde se organizan y transmiten a los actuadores para su control o al siguiente bloque para procesamiento. En el bloque de almacenamiento, clasificación y procesamiento, los datos se almacenan en una base local y en la nube, y se procesan con el algoritmo Random Forest para generar predicciones del crecimiento de las plantas. Finalmente, los resultados son enviados al bloque de visualización, donde el usuario puede monitorear toda la información a través de una aplicación móvil y recibir alertas mediante Telegram si ocurre alguna falla o evento crítico en el sistema.

3.10.3. Arquitectura del Sistema

A continuación, en la Figura 19 se muestra la Arquitectura Final del Sistema Indoor.

Figura 19

Arquitectura del Sistema Indoor



Fuente: Autoría

3.11. Alimentación del Sistema

Para asegurar el adecuado funcionamiento de los bloques que componen el sistema de cultivo indoor, es indispensable calcular los valores de corriente y voltaje que alimentarán cada componente. Mediante el uso de fórmulas matemáticas, se obtendrán los parámetros energéticos necesarios para garantizar un suministro eficiente, considerando rangos de 5V a 12V y su correspondiente consumo de corriente. Estos resultados serán la base para dimensionar correctamente el consumo total del sistema y establecer un margen de prueba que permita validar la programación y funcionamiento óptimo de los sensores y actuadores, tomando en cuenta las especificaciones de la Tabla 13, del ítem 3.6.4.

A continuación, se determinan los cálculos de voltaje y corriente requeridos para alimentar el sistema propuesto, tomando como referencia el análisis del consumo energético de cada uno de los componentes.

3.11.1. Cálculo de Corriente

Tabla 38

Cálculo de corriente para los nodos secundarios

Nº	Elemento	Corriente (mA)	Voltaje (Vcd ²)
1	ESP32-WROOM-32D	160 mA	5v
2	Sensor de Humedad	40 mA	3.3 a 5V
3	Sensor de Temperatura	2.5 mA	3.3 a 5V
4	Sensor de Luminosidad	0.40 mA	3.3 a 5V
5	Sensor TDS	6 mA	3.3 a 5V
6	Electroválvula	2000 mA	12V
7	Ventiladores	0.6 mA	12V
8	Raspberry pi 5	5000 mA	5V
9	Bombillas calefactoras	2270 mA	110 V

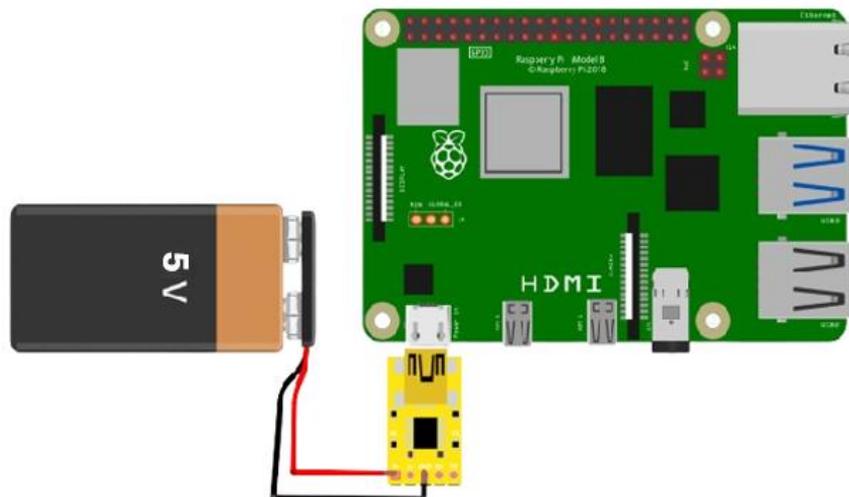
Fuente: Autoría

3.12. Esquema de conexión del Nodo Principal

El gateway principal, también conocido como nodo central, desempeña funciones esenciales dentro del sistema, incluyendo el procesamiento de operaciones, visualización de datos, análisis y almacenamiento. Además, este nodo central es responsable de la comunicación con los nodos secundarios, donde se ubican los sensores. La Figura 20 muestra un diagrama de conexión circuital, que incluye la placa Raspberry Pi 5. Esta placa integra una tarjeta inalámbrica compatible con los estándares 802.11 n/b/g, lo que facilita su comunicación inalámbrica. Adicionalmente, la placa soporta tecnologías de red 4G y 5G. Se alimenta mediante una fuente de 5V a través de un puerto tipo C y ofrece una salida de imagen a través de un puerto micro HDMI.

Figura 20

Conexión de Nodo Central



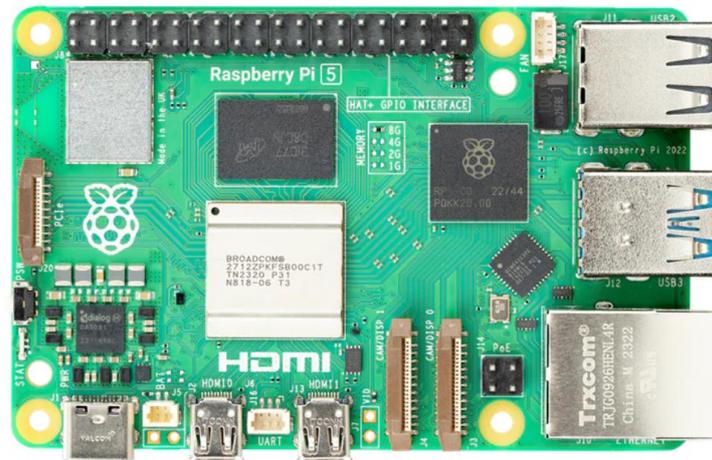
Fuente: Autoría

El diseño del nodo central incluye un case de dimensiones 10 cm x 7 cm x 3 cm que sirve para proteger los circuitos integrados de la acumulación de polvo y de la electricidad estática durante su manejo. Además, se ha equipado el nodo con un monitor, teclado y ratón,

facilitando así su visualización y operación. La Figura 21 ilustra la interfaz inicial que presenta la dirección IP del nodo central. Por otro lado, la Figura 39 ofrece una vista superior de la placa central, donde se pueden apreciar sus diversos componentes, así como las interfaces de entrada y salida.

Figura 21

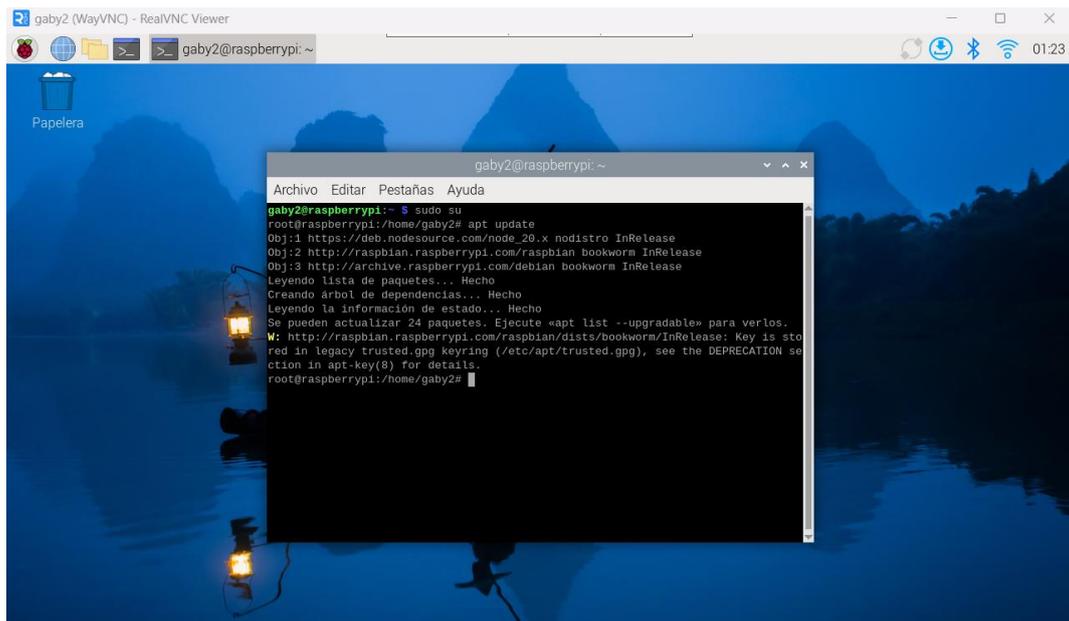
Vista superior del Nodo central



Fuente: Autoría

Figura 22

Interfaz Gráfica del Nodo Central



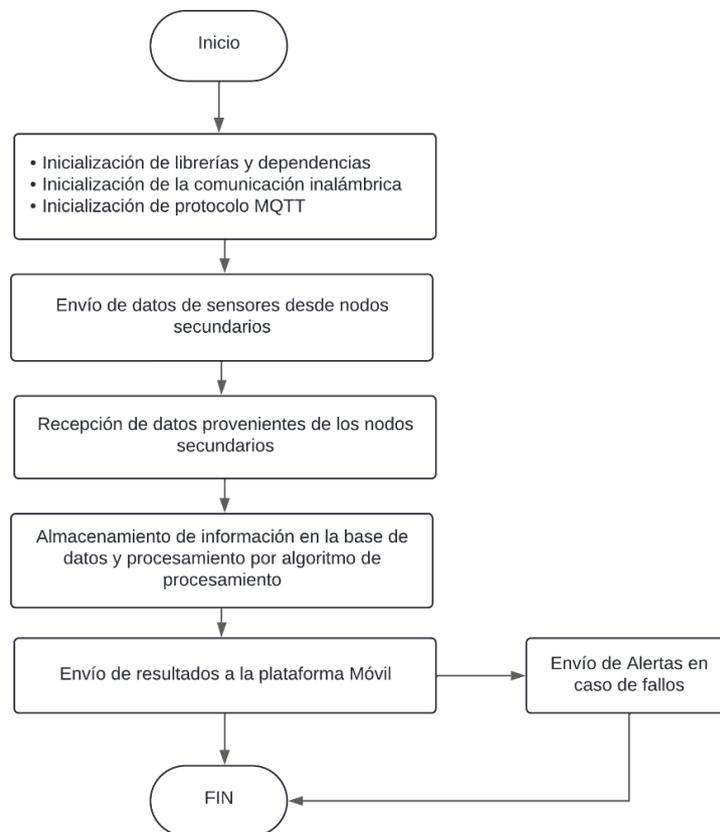
Fuente: Autoría

3.12. 1. Diagrama de flujo del Nodo Central

En esta sección se describirá de forma integral cómo opera el nodo central, siguiendo el diagrama de flujo presentado en la Figura 23. El primer paso consiste en activar las dependencias necesarias y establecer la conexión inalámbrica con las plataformas correspondientes. A continuación, los sensores recogerán los datos que serán transmitidos por los nodos secundarios al nodo central. Este último recopilará y almacenará los datos en una base de datos. Posteriormente, los datos serán categorizados y procesados mediante un algoritmo específico. Los resultados del análisis, como el tamaño de las plantas, se mostrarán en una interfaz gráfica o aplicación móvil. Además, el sistema generará alertas en caso de detectar fallos y también proporcionará gráficos en tiempo real de los valores nutricionales de las plantas.

Figura 23

Diagrama de Flujo del Nodo Central



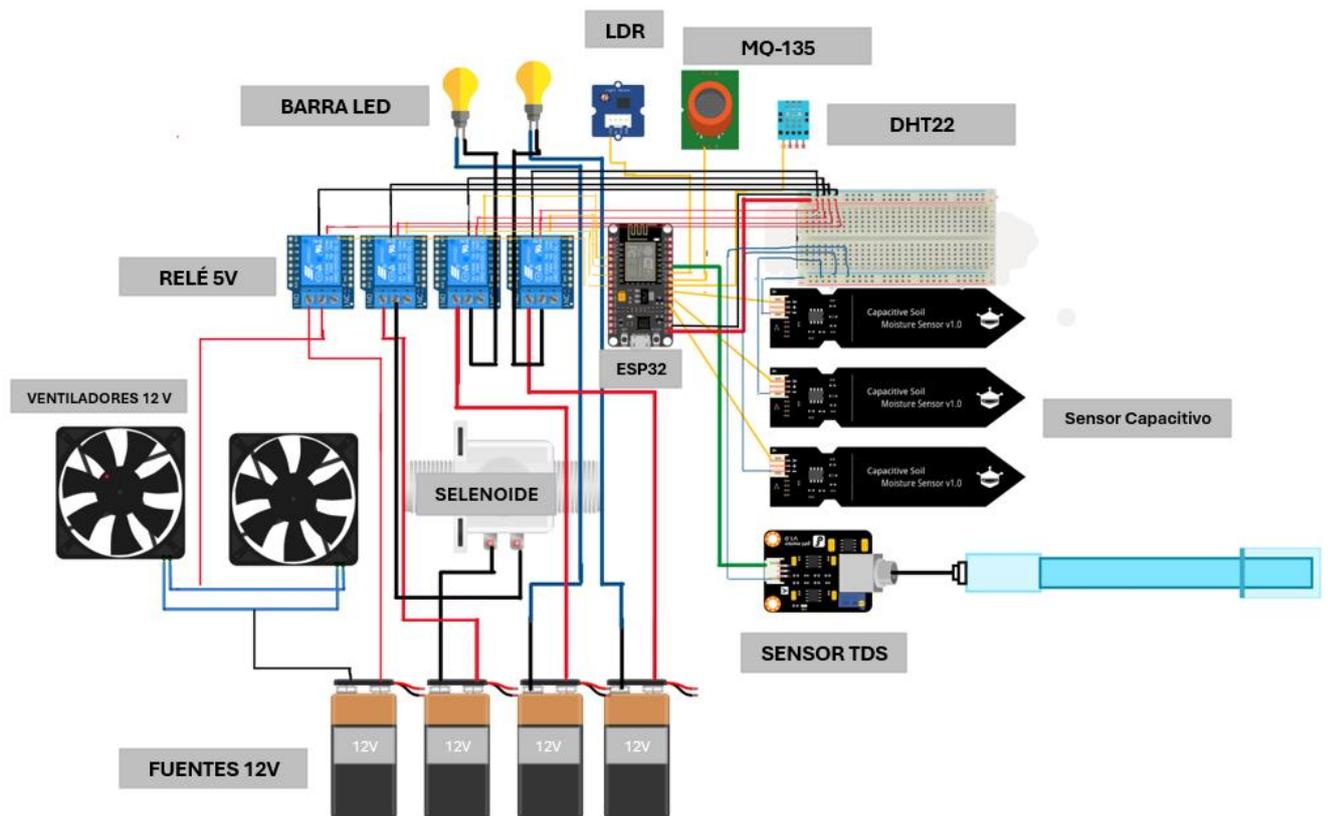
Fuente: Autoría

3.12. 2. Esquema de conexión de Nodos Secundarios

En los nodos secundarios se lleva a cabo la recopilación de datos a través de sensores especializados en medir humedad, temperatura, calidad del aire, luminosidad y calidad del agua. Estos datos son capturados por el Nodo ESP32-WROOM-32D, el cual transforma las señales analógicas en unidades de medida digitales específicas para cada tipo de sensor y variable a medir. Además, este nodo está equipado con tres módulos de relé, asignados uno para cada actuador, facilitando el control de la electroválvula, las barras de LED y los ventiladores. También se incluye un relé adicional para gestionar la iluminación en el segundo piso del sistema, como se ilustra en el esquema de la Figura 24.

Figura 24

Esquema de Conexión de Nodos Secundarios



fritzing

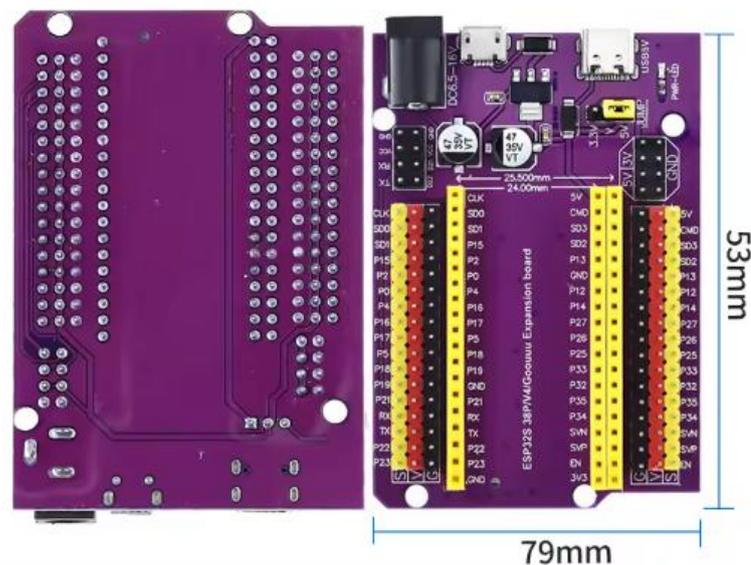
Fuente: Autoría

3.12. 3. Adquisición de Expansor de Nodos Secundarios

Para la correcta integración del sistema, es esencial disponer de una placa compacta que facilite la conexión de los sensores al Nodo ESP32-WROOM. Esta placa no solo permite la adquisición eficiente de datos de cada sensor, sino que también asegura conexiones estables y compactas entre el nodo y sus pines, protegiendo así el nodo. Además, la placa ofrece múltiples opciones de alimentación, incluyendo entradas tipo C, micro USB y Jack, lo que aumenta su versatilidad. El diseño de este expansor, adquirido en una tienda de electrónica, es sumamente flexible y compatible con dos tamaños diferentes de nodos. (véase Figura 25).

Figura 25

Diseño de Expansor para Módulos de los Sensores



Fuente: Autoría

3.13. Calibración de Sensores

En esta sección se describe la preparación y configuración de los diversos sensores seleccionados en el ítem 3.7, diseñados para medir en tiempo real las propiedades ambientales y del suelo, así como la calidad del agua. Cada sensor está específicamente adaptado para capturar datos eficazmente del cultivo en cuestión. Algunos de estos sensores recogerán datos de forma analógica, mientras que otros lo harán digitalmente, dependiendo del estado particular

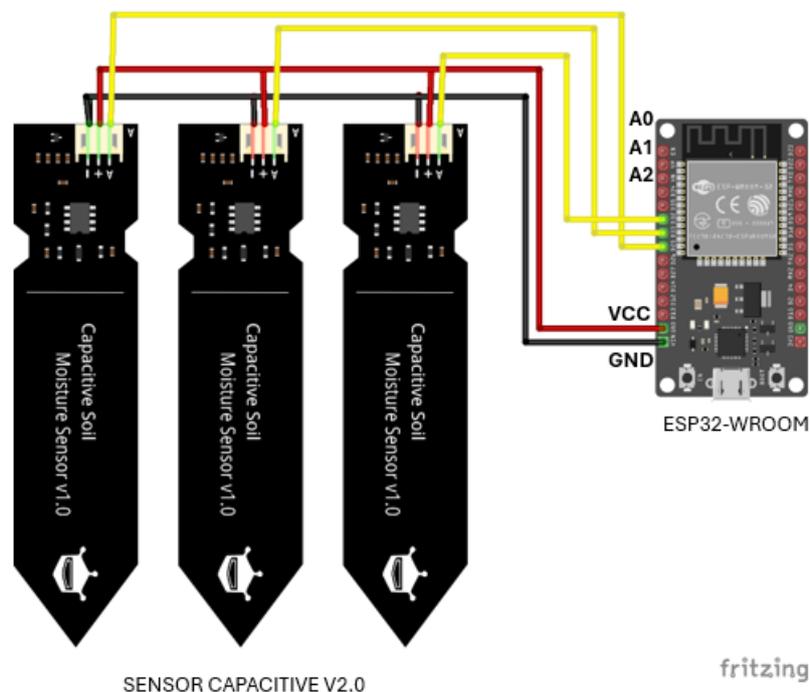
del cultivo. Por ejemplo, en lo que respecta al suelo, se medirá el porcentaje de humedad, es decir, la proporción de tierra seca. Como se mencionó en el capítulo 3.12.2, este nodo incluirá tres sensores de humedad que realizarán mediciones para calcular un promedio, lo cual permitirá determinar el grado de sequedad del suelo y, en consecuencia, controlar las electroválvulas como actuadores.

3.13.1. Adquisición de Datos de Humedad con el sensor Capacitivo

Para asegurar una lectura precisa por parte del sensor capacitivo, es crucial que este esté correctamente conectado al nodo ESP32-WROOM. Como se muestra en la Figura 26, los pines de VCC y GND del sensor deben conectarse a los pines correspondientes en el ESP32. Además, se utilizarán tres sensores de humedad, y cada uno de ellos está equipado con su propio pin analógico para la adquisición de datos. Esta configuración permite una integración eficiente y una recolección precisa de datos ambientales.

Figura 26

Conexión entre el Sensor Capacitivo y la Placa ESP32-WROOM



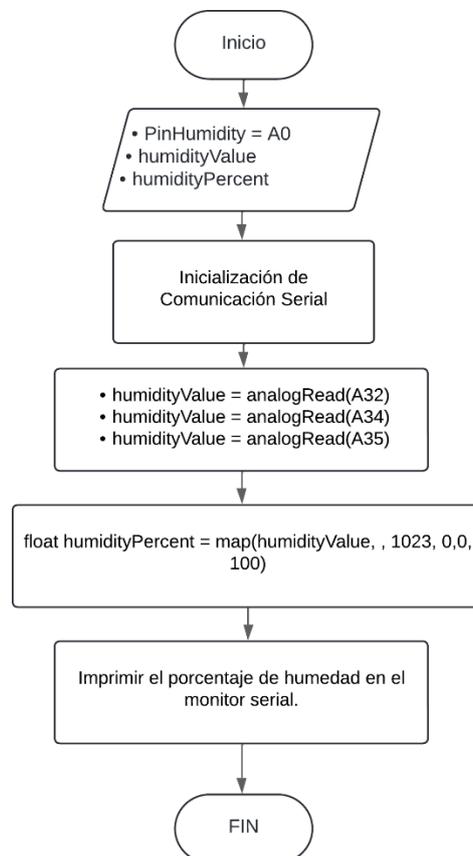
Fuente: Autoría

Con la conexión del sensor de humedad al Arduino, se procede a cargar el código en el Arduino, el cual realiza una transformación de valores de naturaleza analógica a porcentajes conforme se detalla en el diagrama de flujo diseñado para este propósito. El flujo comienza con la declaración de variables; en este caso se utilizará pinHumidity, que designa el pin donde está conectado el sensor y permite almacenar los datos leídos.

En la siguiente etapa, se efectúa la conversión del valor analógico a porcentaje de humedad utilizando una función de mapeo, representada en el diagrama como una transformación lineal de los valores leídos (0-4095) a un rango de 0 a 100%. Una vez transformados estos datos, se inicia una comunicación serie para poder imprimir los resultados en el monitor serie del Arduino IDE, permitiendo una visualización continua y en tiempo real de la humedad del suelo.

Figura 27

Diagrama de Flujo de Valores Análogos del sensor Capacitivo a escala de Humedad

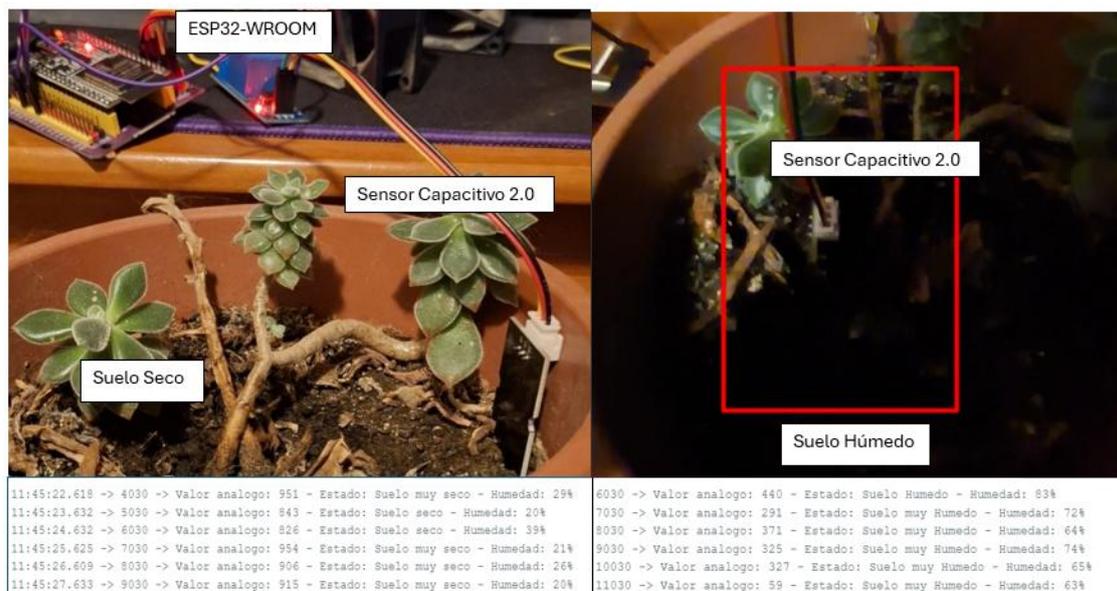


Fuente: Autoría

Para avanzar con la calibración del sensor capacitivo V2.0, es esencial llevar a cabo pruebas utilizando dos tipos de muestras de suelo: una completamente seca y otra totalmente saturada. Es crucial asegurar una conexión directa y fiable entre el sensor y el módulo ESP32-WROOM. En este contexto, valores de lectura cercanos a 4095 indican que el suelo está completamente seco, mientras que valores alrededor de 0 sugieren que el suelo está saturado o completamente húmedo. A continuación, detallaremos los pasos específicos para cada uno de estos escenarios, con el objetivo de completar satisfactoriamente la calibración de los sensores.

Figura 28

Calibración de Sensores Capacitivos de Humedad V2.0



Fuente: Autoría

Una vez calibrado el sensor de humedad, tal como se mencionó anteriormente, se utilizará tres sensores para establecer una ecuación que permita calcular el promedio de la humedad. Esta ecuación tomará en cuenta los datos técnicos que serán detalladamente descritos en el (Anexo 2.) Esta metodología proporcionará una mayor precisión en los valores estándar necesarios para determinar las diferentes variables del sistema, asegurando así una medición eficaz y confiable del estado del suelo

Muy Húmedo = $500 \leq \text{sensor value} \leq 1333$ (Ec. 1)

Húmedo = $1334 \leq \text{sensor value} \leq 2166$ (Ec. 2)

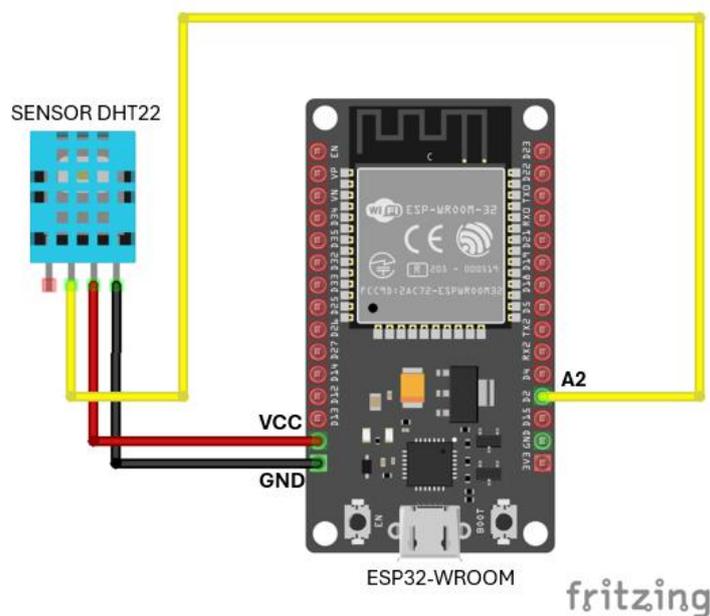
Seco = $2167 \leq \text{sensor value} \leq 3000$ (Ec. 3)

3.13.2. Adquisición de Datos de Temperatura y Humedad del Ambiente.

Conforme a la configuración ilustrada en la Figura 29, se procede a cargar el código de programación requerido para la calibración del sensor. Este proceso se lleva a cabo siguiendo estrictamente las recomendaciones proporcionadas por el fabricante en la hoja técnica, la cual está disponible en la página oficial. Dicha documentación técnica se encuentra detalladamente referenciada en el (Anexo 3) del presente documento. Este procedimiento asegura la correcta calibración del sensor, garantizando la fiabilidad y precisión de las mediciones obtenidas en futuras aplicaciones experimentales.

Figura 29

Conexión entre el Sensor DHT22 y la Placa ESP32-WROOM



Fuente: Autoría

Para garantizar la adecuada adquisición de datos por parte del sensor DHT22, es crucial seguir las instrucciones específicas de conexión que se detallan en la Figura 29. Este sensor,

que mide tanto temperatura como humedad, requiere de una configuración precisa conforme a las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante. Según la hoja técnica (**Anexo 3**), el DHT22 ofrece una salida digital que elimina la necesidad de conversión de valores analógicos a digitales. Es importante destacar que el sensor proporciona una resolución de humedad de 0.1% RH y una resolución de temperatura de 0.1°C, con un rango de medición de humedad del 0-100% RH y una escala de temperatura de -40°C a +80°C. Estas características subrayan la precisión y fiabilidad del DHT22 para aplicaciones que requieren mediciones detalladas de las condiciones ambientales.

La ecuación presentada a continuación permite calcular la temperatura a partir de los datos proporcionados por el sensor DHT22. Además, para ilustrar cómo se lleva a cabo esta conversión, se proporciona un ejemplo con un valor hipotético, facilitando así la comprensión del proceso de cálculo de la temperatura. Este método asegura una interpretación precisa de las lecturas del sensor, esencial para la gestión efectiva del ambiente en aplicaciones de control climático y monitoreo ambiental.

$$\textit{Temperatura} (\text{°C}) = \frac{\textit{Valor de temperatura del DHT22}}{10} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\textit{Temperatura} = \frac{250}{10} = 25.0 \text{ °C} \quad (\text{Ec. 5})$$

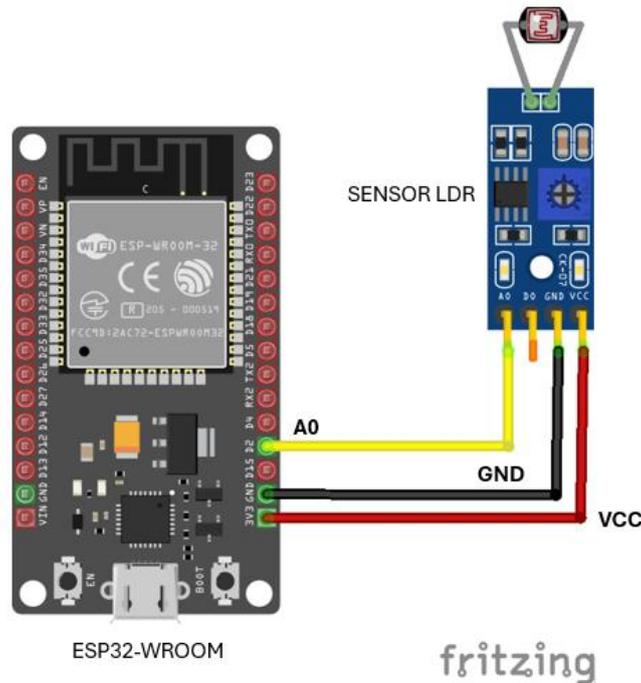
3.13.3. Adquisición de Datos de Luminosidad.

La medición de la luminosidad se efectuará utilizando un sensor LDR, un componente fundamental para cuantificar los lúmenes en el entorno. Este procedimiento se basa rigurosamente en las directrices técnicas proporcionadas en la hoja técnica del sensor LDR, contenida en el (**Anexo 4**) del documento. Implementar estas especificaciones técnicas de manera precisa es esencial para asegurar mediciones exactas de luminosidad, un factor determinante para optimizar las condiciones de crecimiento en ambientes de cultivo

controlado. Esta metodología garantiza que el proyecto se alinee con los estándares técnicos requeridos y contribuye significativamente a la precisión y fiabilidad del sistema de sensado.

Figura 30

Esquema de conexión del sensor LDR al Nodo ESP32



Fuente: Autoría

Para determinar con precisión la cantidad de luz necesaria en un ambiente de cultivo controlado, es esencial considerar varios factores clave. Estos incluyen la intensidad lumínica actual del entorno, las necesidades específicas de luz de las plantas cultivadas, y las variaciones de luz natural durante el día. Además, es fundamental incorporar en el sistema un mecanismo de respuesta que ajuste la iluminación artificial según las necesidades detectadas por el sensor LDR, para mantener un nivel óptimo de luz para el crecimiento vegetal.

La fórmula que utilizaremos para calcular si es necesario encender o apagar las luces adicionales se basa en la comparación entre la luz detectada y un umbral predefinido que representa la cantidad mínima de luz requerida por las plantas:

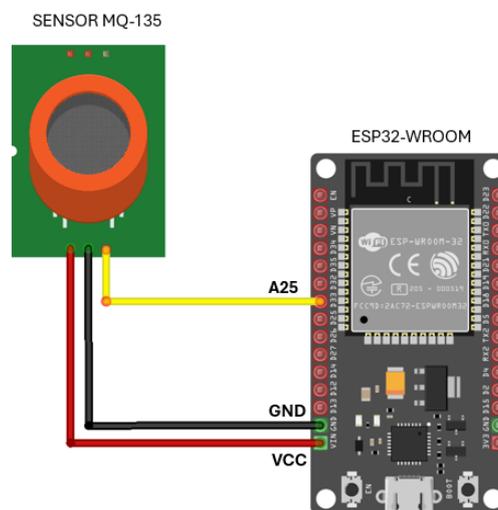
$$L_{necesaria} = L_{umbral} - L_{detectada} \quad (\text{Ec. 6})$$

3.13.3. Adquisición de Datos de Calidad de Aire.

Se tomarán datos del sensor de calidad de aire, teniendo en cuenta los parámetros detallados en la hoja técnica (Anexo 5) correspondiente y considerando las condiciones ideales para cultivos interiores, particularmente para especies como la albahaca y el orégano. La evaluación precisa de la calidad del aire es esencial, dado que elementos como la concentración de CO₂.

Figura 31

Conexión entre el Sensor MQ-135 y la Placa ESP32-WROOM



Fuente: Autoría

La fórmula que emplearemos para decidir la activación de los actuadores se basará en las desviaciones de los parámetros medidos respecto a los valores ideales preestablecidos para cada factor ambiental. Un ejemplo de esta fórmula podría ser:

$$A = \sum_{i=1}^n k_i(P_i - O_i) \quad (\text{Ec. 6})$$

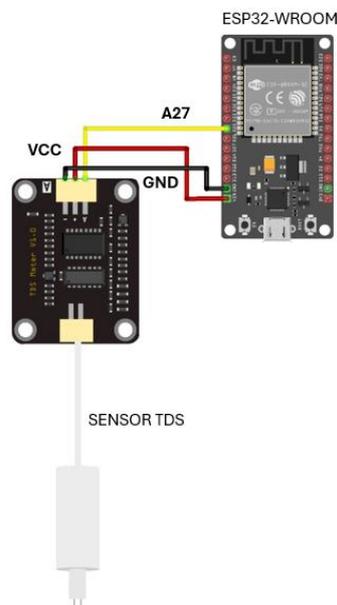
3.13.3. Adquisición de Datos de Sensor TDS

En esta sección se lleva a cabo la medición de la calidad del agua utilizando un sensor TDS, conforme a los parámetros técnicos especificados en la hoja de especificaciones del

(Anexo 6). Esta medición es crucial para determinar la concentración de sólidos disueltos y asegurar la adecuada gestión del recurso hídrico en el cultivo. Adicionalmente, se proporcionará una guía detallada para conectar el sensor TDS al módulo ESP-32-WROOM, lo que permitirá una integración efectiva y una automatización precisa del proceso de monitoreo de la calidad del agua. Esta configuración es esencial para optimizar las condiciones del entorno de cultivo y mejorar la eficiencia en el uso del agua.

Figura 32

Conexión entre el TDS y la Placa ESP32-WROOM



Fuente: Autoría

Para obtener datos del sensor TDS, se emplea la Ecuación 7 para determinar la concentración total de sólidos disueltos. Esta ecuación considera un factor de correlación específico para cada líquido, siendo de 640 en el caso del agua (SMART FERTILIZER, 2019). Dicho factor se multiplica por la conductividad eléctrica del agua, lo que permite obtener el resultado expresado en mg/L o ppm.

$$TDS = KE * CE \quad (\text{Ec. 7})$$

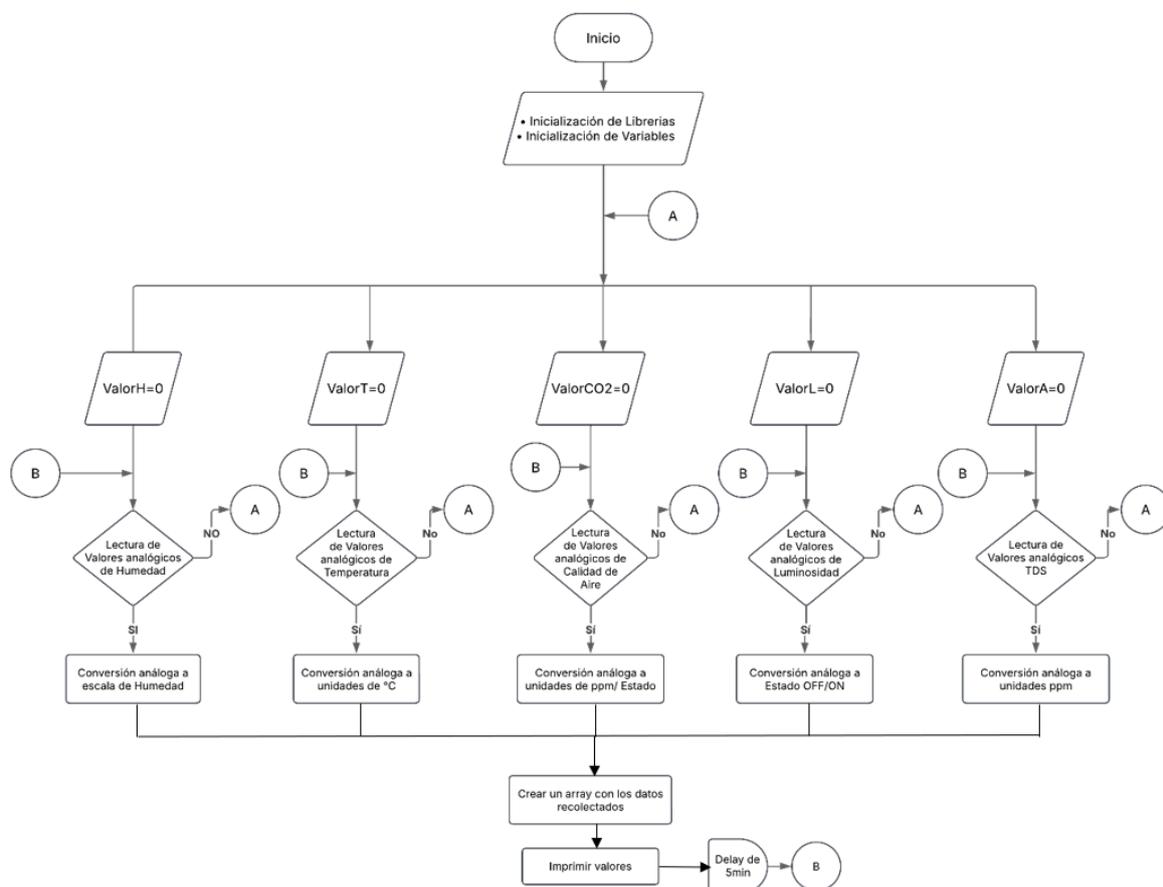
3.14. Desarrollo de la Programación del Sistema (Software)

En esta sección se describe el proceso de programación de los sensores, desde la captura de datos en formato analógico hasta su conversión a unidades específicas según cada dispositivo. Además, se explica la comunicación entre los nodos del sistema, la gestión del almacenamiento local, y la implementación de algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación de estados nutricionales de los cultivos. Asimismo, se aborda la visualización de la información a través de una aplicación móvil, permitiendo así un monitoreo remoto eficiente.

Inicialmente, se establece el funcionamiento del nodo secundario siguiendo una lógica basada en diagramas de flujo (véase Figura 33). En esta fase, se definen variables de tipo char y float, que almacenan las lecturas obtenidas por los sensores.

Figura 33

Diagrama de Flujo de Nodos Secundarios



Fuente: Autoría

A continuación, se detallan los aspectos fundamentales relacionados con la programación de cada uno de los sensores involucrados en la adquisición de las variables previamente mencionadas. En este sentido, se describe el proceso de lectura de datos provenientes de cada sensor, así como la configuración establecida para la comunicación inalámbrica entre los nodos basados en el módulo ESP32-WROOM-32D y el dispositivo central Raspberry Pi 5.

3.14.1. Lectura de Datos por Los sensores de Humedad para Nodo Secundario

(Albahaca)

La programación empleada para la adquisición de datos se basa en las Ec.1 y Ec.3 descritas anteriormente, el cual permite leer los datos analógicos en una unidad adimensional de 0 a 4095 (véase Figura 34)

Figura 34

Código de Funcionamiento y Valor Promedio de Sensores de Humedad

```

27 // **Definición de valores de humedad del suelo**
28 const int DRY_SOIL = 2167; // Valor analógico en suelo seco
29 const int WET_SOIL = 1334; // Valor analógico en suelo húmedo
30
64 void loop() {
65     // **Obtener valores de los sensores**
66     int soilAverage = calculateSoilHumidity(); // Promedio de humedad del suelo

100 int calculateSoilHumidity() {
101     int sum = 0;
102     for (int i = 0; i < 3; i++) {
103         sum += readSoilSensor(sensorPins[i]);
104     }
105     int averageValue = sum / 3; // Calcula el promedio
106     Serial.print("Promedio de humedad del suelo (valor analógico): ");
107     Serial.println(averageValue);
108     return averageValue;

```

Fuente: Autoría

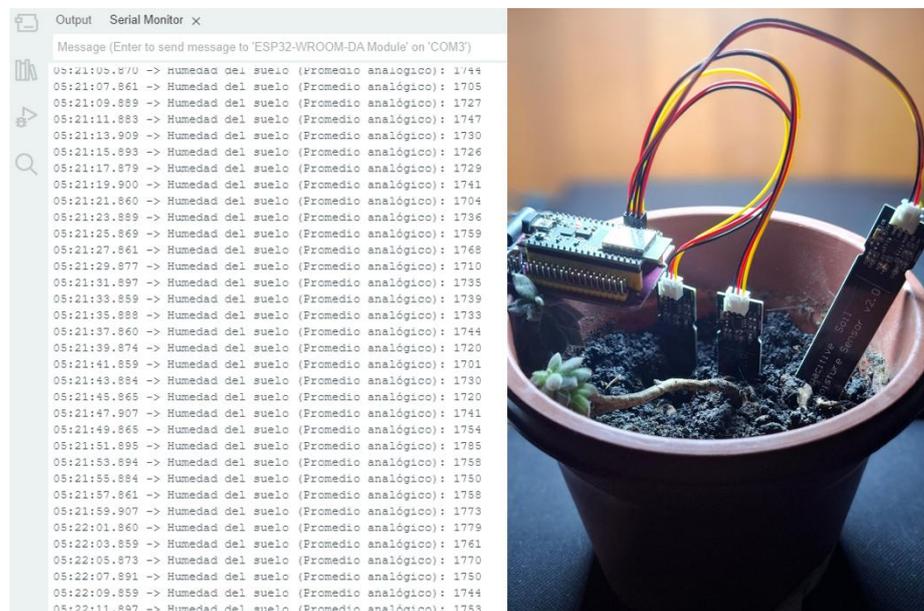
Para verificar el correcto funcionamiento del sistema, se llevan a cabo pruebas en distintos estados del suelo, considerando diversas configuraciones de los sensores de humedad. Dado que se utilizan tres sensores de humedad y se calcula un valor promedio, es necesario evaluar diferentes escenarios para parametrizar adecuadamente cada cultivo.

El primer escenario consiste en colocar dos sensores en suelo húmedo y uno fuera de la tierra, mientras que, en el segundo, un sensor se mantiene en suelo húmedo y los otros dos fuera de la tierra. Estas pruebas permiten analizar la respuesta del sistema ante distintas condiciones y establecer parámetros de referencia específicos para el cultivo de albahaca.

En la Figura 35, el literal “a” muestra los valores obtenidos en el primer escenario, evidenciando la influencia de los sensores en la parametrización del sistema. Por otro lado, en el literal “b”, se presenta la simulación de una condición de suelo parcialmente seco, donde dos sensores permanecen en la tierra y uno fuera, lo que indica que ciertas áreas del suelo podrían presentar menor humedad. Estos ensayos son fundamentales para optimizar la calibración del sistema y garantizar un monitoreo preciso de la humedad del suelo en el cultivo.

Figura 35

Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo parcialmente seco



Fuente: Autoría

Para evaluar la precisión de los sensores analógicos y la correcta obtención del promedio de lecturas, se lleva a cabo una prueba adicional. Esta prueba, representada en la Figura 36, corresponde al segundo escenario, donde solo un sensor es sumergido en la tierra,

mientras que los otros dos permanecen fuera. El objetivo es verificar los valores obtenidos y analizar la influencia de cada sensor en la medición final.

Figura 36

Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo sin presencia de Humedad

```

05:23:11.879 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2380
05:23:11.879 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:13.890 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2383
05:23:13.890 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:15.878 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2362
05:23:15.878 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:17.858 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2391
05:23:17.893 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:19.870 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2389
05:23:19.870 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:21.894 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2374
05:23:21.894 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:23.901 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2369
05:23:23.901 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:25.882 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2342
05:23:25.882 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:27.858 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2360
05:23:27.895 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:29.885 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2400
05:23:29.885 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:31.865 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2369
05:23:31.865 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:33.860 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2343
05:23:33.860 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:35.856 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2377
05:23:35.892 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:37.860 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2399
05:23:37.860 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:39.894 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2368
05:23:39.894 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:41.869 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2421
05:23:41.869 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:43.856 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2370
05:23:43.893 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:45.856 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2363
05:23:45.893 -> Tierra seca detectada. Abriendo válvula.
05:23:47.858 -> Humedad del suelo (Promedio analógico): 2379

```



Fuente: Autoría

3.14.2. Lectura de Datos por Los sensores de Humedad para Nodo Secundario

(Orégano)

Por otro lado, para la lectura de los datos de humedad por parte del segundo nodo el cual representa al cultivo de orégano, tiene un ligero cambio dentro de la toma de datos, ya que el orégano no tiene la misma necesidad de riego que la albahaca, por ende, se cambia solo el rango de parametrización de riego como se puede observar en la Figura 37.

Figura 37

Código de Funcionamiento y Valor Promedio de Sensores de Humedad para el Orégano

```

26  const int DRY_SOIL = 2600;           // Establece el rango de humedad
27  const int WET_SOIL = 1500;

64  void loop() {
65      // **Obtener valores de los sensores**
66      int soilAverage = calculateSoilHumidity(); // Promedio de humedad del suelo

100  int calculateSoilHumidity() {
101      int sum = 0;
102      for (int i = 0; i < 3; i++) {
103          sum += readSoilSensor(sensorPins[i]);
104      }
105      int averageValue = sum / 3; // Calcula el promedio
106      Serial.print("Promedio de humedad del suelo (valor analógico): ");
107      Serial.println(averageValue);
108      return averageValue;

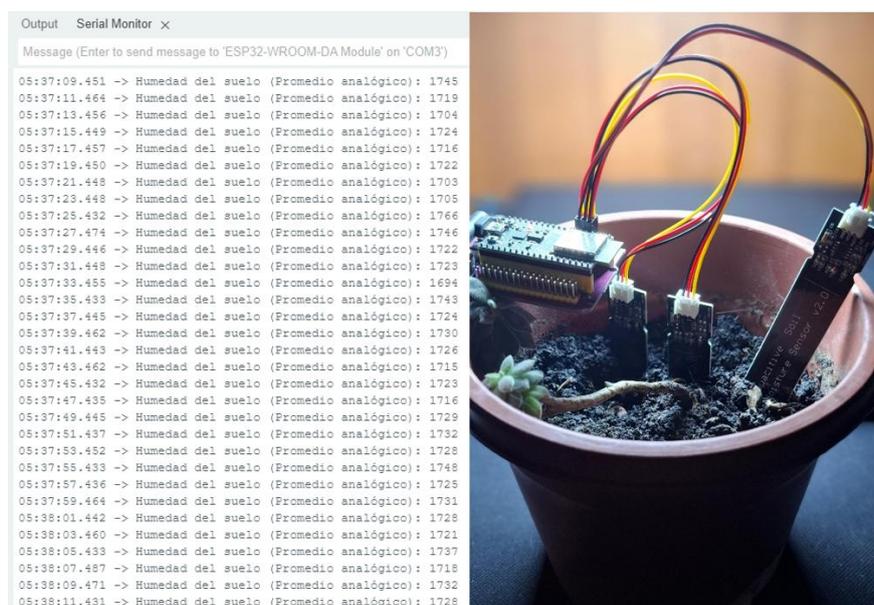
```

Fuente: Autoría

Para llevar a cabo las pruebas en este cultivo, se replican las evaluaciones descritas en el apartado 3.14.1. En el primer escenario, se colocan dos sensores dentro del suelo y uno fuera de él, con el objetivo de analizar su comportamiento en relación con el actuador. En la Figura 38, el literal "a" muestra los valores obtenidos por los sensores con la nueva parametrización, mientras que en el literal "b" se representa la configuración del primer escenario.

Figura 38

Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo parcialmente seco

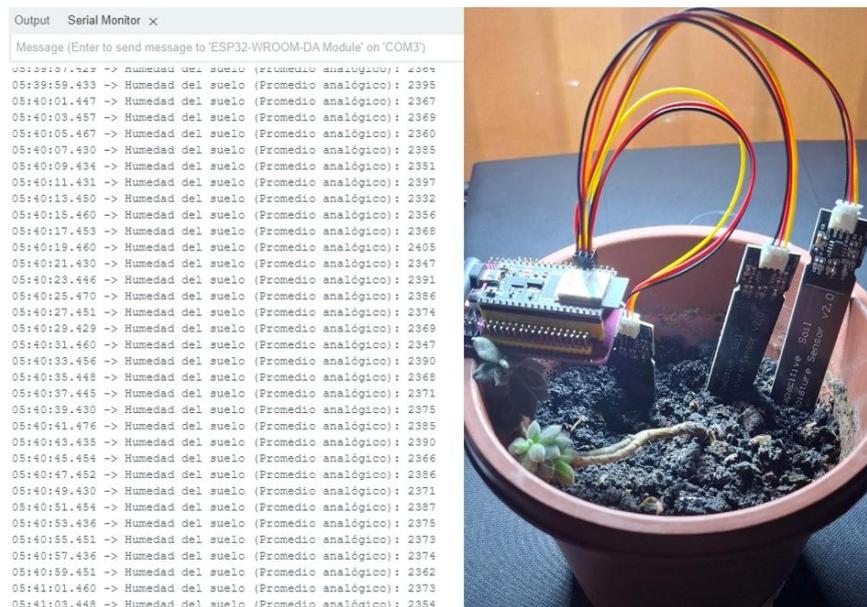


Fuente: Autoría

En el segundo escenario, se dispone de dos sensores fuera del suelo, mientras que uno permanece en la tierra para simular condiciones de humedad. Como se observa en la Figura 39, se registra la humedad promedio, aunque en este caso, el actuador no interviene en la regulación del sistema.

Figura 39

Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo parcialmente húmedo

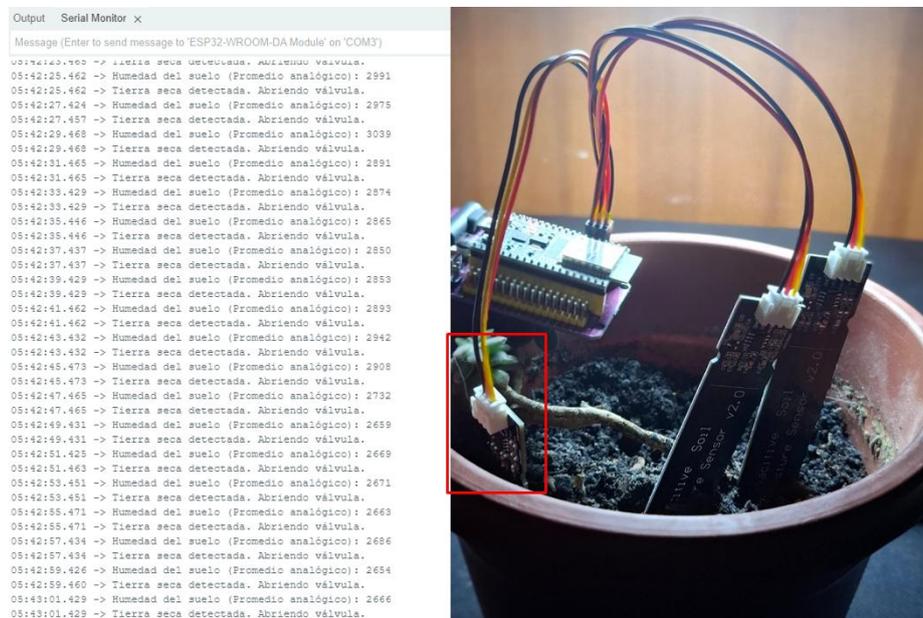


Fuente: Autoría

Finalmente, se plantea un tercer escenario en el que uno de los sensores simula un suelo con baja humedad, mientras que los otros dos detectan condiciones de sequedad extrema. Como resultado, el sistema activa la electroválvula, permitiendo el inicio del riego para restablecer los niveles óptimos de humedad en el suelo. En la Figura 40, se aprecia el tercer escenario, con dos literales, el literal “a” representando la toma de datos de los sensores, y posteriormente el literal “b” representando el tercer escenario.

Figura 40

Captura de Valores de Humedad en el monitor serial b) Simulación de suelo con poca presencia de Humedad



Fuente: Autoría

3.14.3. Lectura de Datos por el sensor de Temperatura (Para todos los Nodos)

La Figura 41 presenta las funciones de la librería DHT22, las cuales se encargan de transformar los valores analógicos de temperatura en grados centígrados. Además, validan el correcto desempeño del sensor de temperatura mediante la adquisición y visualización de datos en el monitor serie del IDE de Arduino. La captura de información se llevó a cabo en condiciones ambientales estándar. Por su parte, la Figura 41 exhibe los datos registrados en tiempo real durante la prueba.

Figura 41

Código de Funcionamiento de Sensores de Temperatura y Humedad del Ambiente

```

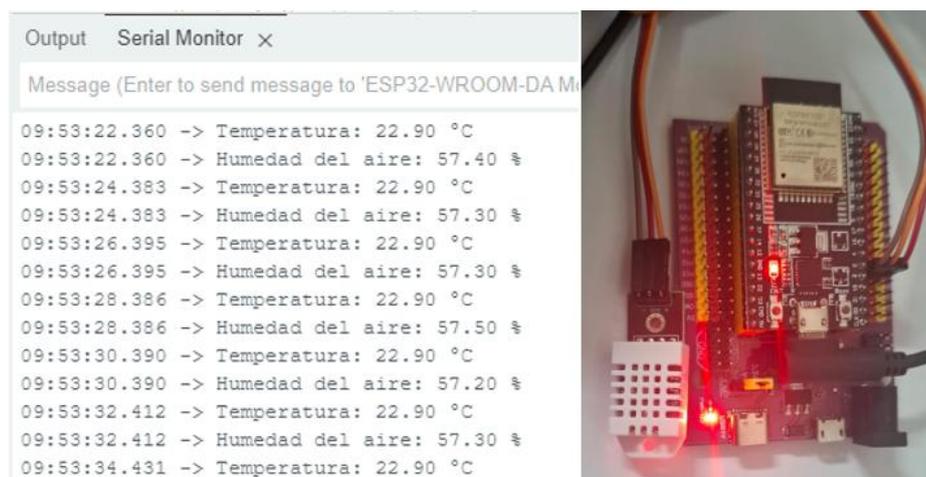
3 // **Configuración del sensor DHT22**
4 #define DHTPIN 2 // Pin donde está conectado el DHT22
5 #define DHTTYPE DHT22 // Tipo de sensor
6 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inicialización del sensor DHT
7
13 void loop() {
14 // **Obtener valores del sensor DHT22**
15 float airHumidity = dht.readHumidity(); // Humedad del aire
16 float temp = dht.readTemperature() - 2; // Temperatura ajustada del DHT22, homologación de Sensor
17
18 // **Comprobación de valores del sensor DHT22**
19 if (isnan(airHumidity) || isnan(temp)) {
20 Serial.println("Error al leer el sensor DHT!");
21 } else {
22 Serial.print("Temperatura: ");
23 Serial.print(temp);
24 Serial.println(" °C");
25 Serial.print("Humedad del aire: ");

```

Fuente: Autoría

Figura 42

Obtención de Valores de Temperatura y Humedad del Ambiente



Fuente: Autoría

3.14.4. Lectura de Datos por el sensor de Calidad de Aire (Para todos los Nodos)

A continuación, se registrarán los valores analógicos del sensor MQ-135, que realizará dos procesos: primero, la medición de la concentración de gases en ppm y, posteriormente, la conversión de estos datos en categorías de calidad del aire, clasificándolas como alta, moderada o baja. Además, el sensor estará vinculado al actuador de ventilación, ya que la activación del

sistema de ventilación dependerá del estado de la calidad del aire, como se ilustra en la figura correspondiente.

Figura 43

Código de Funcionamiento de Sensores de Calidad de Aire

```

4 void setup() {
5   Serial.begin(115200); // Inicializa la comunicación serial
6   pinMode(mq135Pin, INPUT); // Configura el pin del MQ135 como entrada
7 }
8
9 void loop() {
10  float co2Level = analogRead(mq135Pin); // Lee el valor del MQ135
11
12  Serial.print("Nivel de CO2 (valor analógico): ");
13  Serial.println(co2Level);
14
15  Serial.print("Calidad del aire: ");
16  Serial.println(getAirQuality(co2Level));
17
18  Serial.println("-----");
19  delay(2000); // Espera 2 segundos antes de la siguiente lectura
20 }
21
22 // Función para determinar la calidad del aire en base al nivel de CO2
23 String getAirQuality(float co2Level) {
24   if (co2Level <= 350) return "Alta calidad de aire";
25   if (co2Level <= 800) return "Moderada calidad de aire";
26   if (co2Level <= 1200) return "Baja calidad de aire";
27   return "Mala calidad de aire";

```

Fuente: Autoría

En la Figura 44 se presenta el comportamiento operativo del sensor de calidad de aire MQ-135. Tal como se detalla en la Tabla 21, este dispositivo es capaz de recibir tanto señales en corriente continua (DC) como en formato analógico. Para validar su funcionamiento, se realizaron pruebas utilizando ambos tipos de señal, con el objetivo de establecer una calibración adecuada y garantizar la correcta homologación de los datos obtenidos.

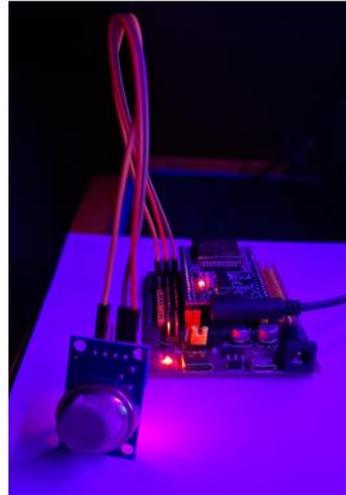
Figura 44

Obtención de Estado y Valores Análogos de la Calidad del Aire

```

23:46:52.503 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 102.00
23:46:52.503 -> Calidad del aire: Alta calidad de aire
23:46:52.503 -> -----
23:46:54.517 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 658.00
23:46:54.517 -> Calidad del aire: Moderada calidad de aire
23:46:54.517 -> -----
23:46:56.556 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 656.00
23:46:56.556 -> Calidad del aire: Moderada calidad de aire
23:46:56.556 -> -----
23:46:58.543 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 655.00
23:46:58.543 -> Calidad del aire: Moderada calidad de aire
23:46:58.543 -> -----
23:47:00.509 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 654.00
23:47:00.509 -> Calidad del aire: Moderada calidad de aire
23:47:00.509 -> -----
23:47:02.523 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 652.00
23:47:02.523 -> Calidad del aire: Moderada calidad de aire
23:47:02.523 -> -----
23:47:04.537 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 650.00
23:47:04.537 -> Calidad del aire: Moderada calidad de aire
23:47:04.537 -> -----
23:47:06.523 -> Nivel de CO2 (valor analógico): 653.00
23:47:06.523 -> Calidad del aire: Moderada calidad de aire

```



Fuente: Autoría

3.14.5. Lectura de Datos por el sensor de Luminosidad (Nodo1)

En la siguiente ilustración se muestra el código correspondiente a la calibración del sensor de luminosidad. Este programa permite que el sistema detecte condiciones de baja iluminación, activando automáticamente el actuador asociado. Una vez que se detecta oscuridad, el sistema mantiene el actuador encendido durante un periodo de tres minutos, lo cual fue configurado exclusivamente para fines de simulación.

Figura 45

Código de Funcionamiento del Sensor de Luminosidad (Nodo 1)

```

// Definición de pines
const int LDR_PIN = 39; // Pin del sensor LDR
const int LED_PIN = 17; // Pin del LED

// Umbral de luminosidad para encender el LED (ajustar según entorno)
const int LDR_THRESHOLD = 800;

// Tiempo que el LED permanecerá encendido (en milisegundos)
const unsigned long LED_ON_TIME = 30000; // 30 segundos para el ejemplo

// Variables para controlar el estado del LED y el tiempo
bool ledState = false;
unsigned long ledTimer = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(LDR_PIN, INPUT); // Configura el LDR como entrada
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT); // Configura el LED como salida
  digitalWrite(LED_PIN, LOW); // LED apagado al inicio
}

void loop() {
  int ldrValue = analogRead(LDR_PIN); // Leer valor del LDR
  Serial.print("Nivel de luminosidad (valor analógico): ");

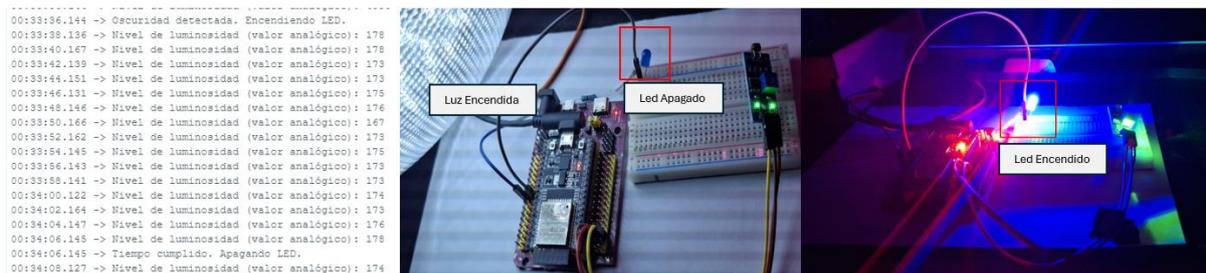
```

Fuente: Autoría

Cabe mencionar que, en la implementación final, los parámetros de temporización serán ajustados de acuerdo con las condiciones operativas del sistema. Adicionalmente, se consideró que cada actuador podrá operar bajo tres estados definidos, los cuales estarán determinados por las condiciones ambientales detectadas.

Figura 46

Obtención de Estado y Valores Análogos del Sensor de Luminosidad



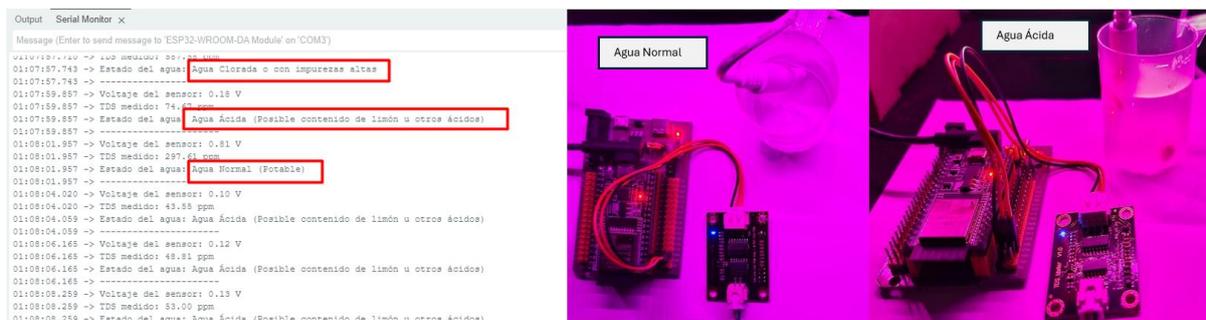
Fuente: Autoría

3.14.6. Lectura de Datos por el sensor de TDS (Nodo2)

Como etapa final en la calibración de sensores, se programó el sensor de calidad de agua (TDS). Para su correcta parametrización, se realizaron pruebas utilizando tres tipos de muestras: agua potable, agua ácida y agua clorada. Estas pruebas permitieron determinar las condiciones óptimas de operación, concluyéndose que el uso de agua reposada durante tres a cuatro días resulta adecuado, ya que este proceso reduce significativamente la concentración de cloro presente en el agua potable, mejorando así la calidad del agua destinada al cultivo.

Figura 47

Obtención valores de diferentes tipos de líquidos



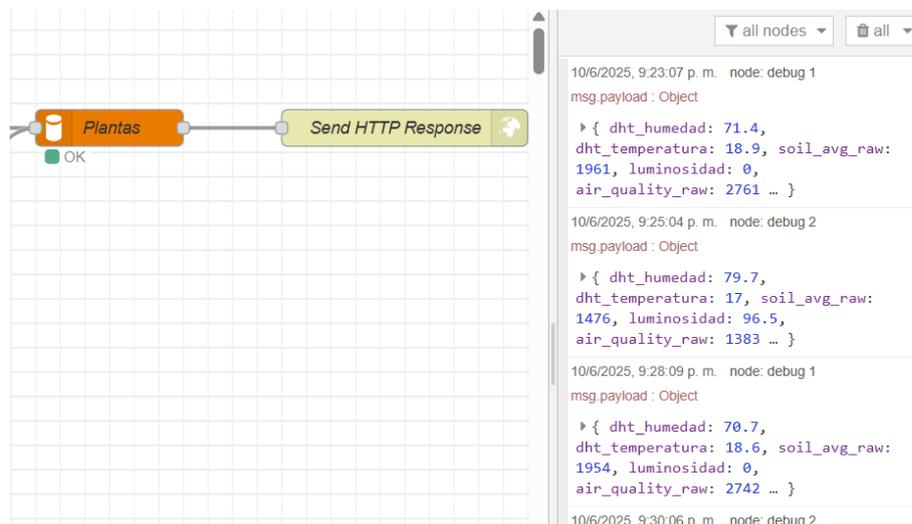
Fuente: Autoría

3.14.7. Recepción de datos por medio del Software Node-RED

El software Node-RED se implementó como una plataforma de integración y gestión de datos dentro del presente proyecto. Este entorno permite la adquisición y recepción local de los datos provenientes de los sensores instalados en los cultivos, facilitando su posterior procesamiento. Además, Node-RED ofrece un entorno de desarrollo basado en flujos, que permite incorporar nodos funcionales destinados al preprocesamiento de datos, detección de anomalías, generación de alertas y toma de decisiones en tiempo real.

Figura 48

Recepción de datos sensados por los cultivos



Fuente: Autoría

3.15. Almacenamiento de Datos

El almacenamiento de datos cumple un rol fundamental dentro de la arquitectura del sistema, ya que garantiza la conservación de la información generada por cada uno de los cultivos monitoreados. Para este propósito, se implementó el gestor de bases de datos MariaDB, tal como se especifica en la sección 3.7.1, funcionando como base de datos local. Esta elección se debe a su robustez, eficiencia y compatibilidad con el entorno de trabajo planteado.

MariaDB permite gestionar y almacenar los datos en formato estructurado, facilitando tanto la consulta como la integración con el módulo de entrenamiento del algoritmo de aprendizaje automático. De este modo, es posible acceder a los datos crudos recolectados desde los sensores ambientales, que posteriormente serán utilizados en los procesos de modelado y predicción.

Como herramienta de administración gráfica, se utilizó phpMyAdmin, la cual proporciona una interfaz web que permite gestionar de manera dinámica y eficiente las bases de datos, facilitando operaciones como la creación, modificación y supervisión de tablas, así como la gestión de registros y consultas SQL. Para acceder al entorno de administración de la base de datos, se emplea un navegador web mediante la ruta localhost/phpmyadmin, lo cual solicita las credenciales correspondientes para el inicio de sesión. Una vez autenticado, es posible visualizar la base de datos creada bajo el nombre de “plantas_db”, que contiene las tablas correspondientes a los cultivos de albahaca y orégano, tal como se muestra en la Figura 49.

Figura 49

Creación de Tabla para cultivos correspondientes



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'plantas_db'. The interface includes a search bar and a table list. Two tables are visible: 'albahaca' and 'oregano'. The 'albahaca' table has 4,563 rows and a size of 256.0 KB. The 'oregano' table has 5,061 rows and a size of 272.0 KB. The total number of rows for both tables is 9,624, and the total size is 528.0 KB. The interface also shows options for each table, such as 'Examinar', 'Estructura', 'Buscar', 'Insertar', 'Vaciar', and 'Eliminar'.

Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tamaño	Residuo a depurar	
<input type="checkbox"/> albahaca	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	4,563	InnoDB	utf8mb4_general_ci	256.0 KB	-	
<input type="checkbox"/> oregano	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	5,061	InnoDB	utf8mb4_general_ci	272.0 KB	-	
2 tablas		Número de filas	9,624	InnoDB	utf8mb4_general_ci	528.0 KB	0 B

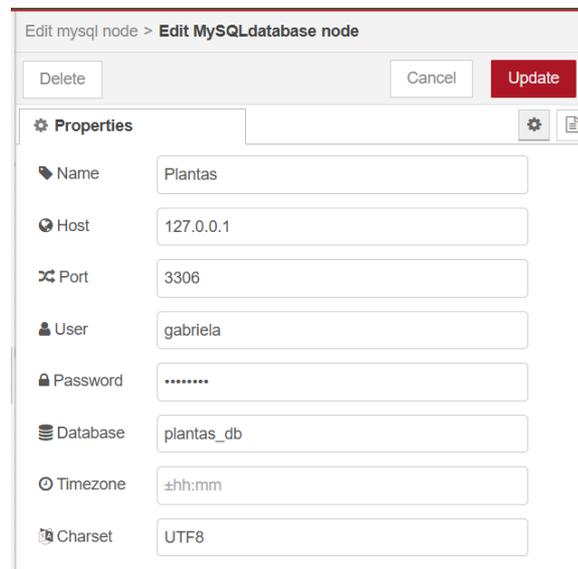
Fuente: Autoría

Para establecer la conexión exitosa entre Node-RED y la base de datos, es necesario configurar correctamente los parámetros de acceso dentro del entorno de desarrollo. Estos parámetros incluyen la dirección del host donde se encuentra alojada la base de datos, el

nombre de usuario, la contraseña de acceso y el nombre específico de la base de datos sobre la cual se realizará la inyección de datos provenientes de los microcontroladores ESP32.

Figura 50

Configuración de conexión NodeRED-MariaDB



The image shows a screenshot of the Node-RED interface for editing a MySQL database node. The window title is "Edit mysql node > Edit MySQLdatabase node". At the top, there are three buttons: "Delete", "Cancel", and "Update". Below this is a "Properties" section with a gear icon and a document icon. The properties are listed as follows:

Property	Value
Name	Plantas
Host	127.0.0.1
Port	3306
User	gabriela
Password
Database	plantas_db
Timezone	±hh:mm
Charset	UTF8

Fuente: Autoría

En la Figura 51 se presenta el bloque de función implementado en Node-RED, encargado de procesar las variables provenientes de los sensores. Este script permite extraer los datos desde `msg.payload` y convertirlos a formato numérico mediante la función `parseFloat`, asegurando que los valores sean válidos para su posterior tratamiento. Adicionalmente, se recupera la variable de luminosidad desde una variable global del entorno, específicamente asociada al cultivo de albahaca.

Figura 51

Función para proceso de Variables Albahaca

The screenshot shows a Node-RED function node named 'function 1'. The 'On Message' tab is selected. The code block contains the following JavaScript code:

```

1  var d = msg.payload;
2
3  // Recuperar luminosidad desde variable global y convertir a número
4  var luminosidad = parseFloat(global.get("luminosidad_albahaca")) || 0;
5
6  // Asegurar que todos los datos sean válidos y numéricos
7  let humedad = parseFloat(d.dht_humedad) || 0;
8  let temperatura = parseFloat(d.dht_temperatura) || 0;
9  let humedadSuelo = parseFloat(d.soil_avg_raw) || 0;
10 let calidadAire = parseFloat(d.air_quality_raw) || 0;
11 let calidadAgua = parseFloat(d.tds_raw) || 0;
12

```

Fuente: Autoría

A continuación se presenta el bloque de función correspondiente al cultivo de orégano, diseñado en Node-RED. Su función es transformar los datos obtenidos de los sensores en valores numéricos, además de recuperar la variable de luminosidad desde una instancia global asociada a este cultivo. El script también valida los datos de humedad relativa, temperatura, humedad del suelo, calidad del aire y calidad del agua. Para mantener la integridad del flujo, cualquier valor no numérico es reemplazado automáticamente por cero, lo que permite asegurar la correcta operación del sistema durante el almacenamiento y procesamiento.

Figura 52

Función para proceso de Variables de Orégano

The screenshot shows a Node-RED function node named 'function 2'. The 'On Message' tab is selected. The code block contains the following JavaScript code:

```

1  var d = msg.payload;
2
3  // Asegurar que todos los datos sean válidos y numéricos
4  let humedad = parseFloat(d.dht_humedad) || 0;
5  let temperatura = parseFloat(d.dht_temperatura) || 0;
6  let humedadSuelo = parseFloat(d.soil_avg_raw) || 0;
7  let luminosidad = parseFloat(d.luminosidad) || 0;
8  let calidadAire = parseFloat(d.air_quality_raw) || 0;
9  let calidadAgua = parseFloat(d.calidad_agua) || 0; // viene desde Firebase vía orégano
10
11 // Guarda la luminosidad en contexto global para uso por el nodo de orégano
12 global.set("luminosidad_albahaca", luminosidad);

```

Fuente: Autoría

A partir de las configuraciones realizadas, los datos son almacenados en la base de datos plantas_db, específicamente en las tablas correspondientes a los cultivos de orégano y albahaca. Asimismo, se registran las diferentes variables asociadas a cada cultivo, permitiendo un control estructurado de la información capturada, tal como se aprecia en la Figura 53.

Figura 53

Valores Insertados en la Base de datos

SELECI * FROM albahaca

Perfilando [Editar en línea] [Editar] [Explicar SQL] [Crear código PHP] [Actualizar]

1 > >> | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Ordenar según la clave: Ninguna

Opciones extra

	ID	Fecha	Humedad	Temperatura	Humedad_Suelo	Luminosidad	Calidad_Aire	Calidad_Agua
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1956	2025-05-24 17:36:50	61.3	21	2863	96	2901	665
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1957	2025-05-24 17:39:32	63.5	21.4	2866	96	2911	764
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1958	2025-05-24 17:44:33	62.8	21.5	2897	96.3	2923	773
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1959	2025-05-24 17:49:34	63	21.4	2890	96.3	2897	777
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1960	2025-05-24 17:54:36	63	21.3	2875	96.3	2922	738
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1961	2025-05-24 17:59:38	63.1	21.3	2871	96.1	2901	776
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1962	2025-05-24 18:04:40	63.1	21.3	2879	96.4	2917	717

Fuente: Autoría

La estructura presentada en la ilustración 54 corresponde a la base de datos en la nube implementada mediante Firebase Realtime Database. Esta base de datos está diseñada para establecer la comunicación directa con la aplicación móvil, permitiendo el control remoto de los actuadores del sistema desde cualquier ubicación con acceso a internet.

La implementación de esta base de datos en la nube es fundamental para garantizar un control universal del sistema, dado que funciona bajo un esquema de comunicación tipo *socket* con Firebase. Esto permite que las operaciones de encendido, apagado o cambio de modo de los actuadores puedan realizarse de forma remota, sin restricciones geográficas. Además, este servicio no presenta limitaciones en cuanto al almacenamiento de datos netos, lo que garantiza escalabilidad y disponibilidad continua para la gestión del sistema agrícola inteligente.

Figura 54

Firebase conectada a la App de IONIC

```

-- estado_fan: "off"
▶ -- estado_luz
▶ -- estado_valve
▶ -- modo_fan
▶ -- modo_luz
▶ -- modo_valve
-- oregano_estado_fan: "on"
▶ -- oregano_estado_valve
▶ -- oregano_modo_fan
▶ -- oregano_modo_valve
▼ -- plantas
  ▶ -- albahaca
  ▶ -- oregano

```

Fuente: Autoría

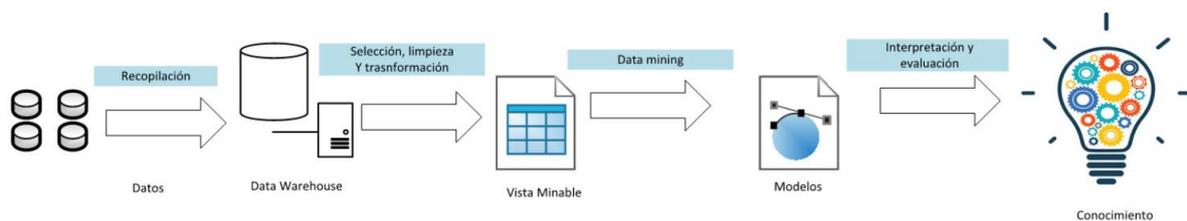
3.16. Análisis de Datos

El tratamiento de los datos se llevó a cabo siguiendo los lineamientos del proceso de Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos (KDD). Este enfoque permite analizar la información recolectada a través del bloque de adquisición, la cual es capturada en su estado original, sin haber sido sometida previamente a ningún tipo de procesamiento.

A través de la metodología KDD, representada en la Figura 54, se detallan las etapas necesarias para llevar a cabo la extracción de conocimiento a partir de los datos obtenidos.

Figura 55

Proceso KDD (Conocimiento en Base de Datos)



Fuente: (Poner, 2013)

3.16.1 Selección

El proceso de selección de datos se realizó tomando un número determinado de registros por semana, considerando hasta la semana cinco como límite, dado que en este punto se dispone de un volumen suficiente de datos para el entrenamiento del algoritmo. Este procedimiento se aplicó de manera independiente para ambos cultivos, tanto albahaca como orégano, con el fin de garantizar que cada modelo trabaje con datos representativos de su propio comportamiento. Para automatizar esta tarea, se desarrolló un script que permite extraer directamente la información desde la base de datos. Dicho proceso se ejecuta en el nodo de procesamiento alojado en la Raspberry Pi 5, la cual es responsable de realizar las operaciones de filtrado y selección de datos.

Es importante señalar que los datos iniciales presentes en la base de datos fueron considerados como datos de prueba, ya que resulta necesario contar con un patrón suficientemente representativo del comportamiento de cada cultivo, lo que permite realizar una selección adecuada para el entrenamiento del modelo predictivo.

Figura 56

Selección de datos para su depuración (Albahaca)

```
(myenv) gabriela@raspberrypi:~ $ python p
✓ Datos muestreados por semana:
SemanaTemp
1      3000
2      3000
3      3000
4      3000
5      3000

Datos totales seleccionados: 15000 datos
```

Fuente: Autoría

3.16.2. Preprocesamiento

Durante la etapa de preprocesamiento se llevó a cabo la depuración de los datos previamente seleccionados, correspondientes a un total de 15000 registros. Para este

procedimiento se establecieron criterios técnicos basados en los rangos operativos de cada uno de los sensores empleados en el sistema.

Dichos parámetros se encuentran detallados en la Tabla 38, la cual establece los límites mínimos y máximos aceptables para cada variable. Cualquier dato que se encuentre fuera de estos rangos es considerado erróneo y, por lo tanto, es descartado del conjunto final destinado al entrenamiento del modelo. Los rangos definidos para cada variable son los siguientes: humedad relativa entre 0 % y 100 %, temperatura entre 0 °C y 50 °C, humedad del suelo con valores ADC entre 0 y 4095, luminosidad entre 0 % y 100 %, calidad del aire en un rango ADC de 0 a 4095, y calidad del agua (TDS) igualmente con valores ADC entre 0 y 4095.

Tabla 39

Datos Técnicos de Recepción de Sensores

Variable	Rango mínimo	Rango máximo
Humedad (%)	0	100
Temperatura (°C)	0	50
Humedad del Suelo (ADC)	0	4095
Luminosidad (%)	0	100
Calidad de Aire (ADC)	0	4095
Calidad de Agua (TDS)	0	4095

Fuente: Autoría

En el bloque de código que se presenta a continuación, se realizan dos procesos fundamentales: primero, la eliminación de registros con valores nulos para asegurar la integridad del conjunto de datos.

Figura 57

Depuración de Datos Malos (Albahaca y Orégano)

```
# Ajustar columnas para que coincidan con reales (sin 'ID')
df_buenos = df_buenos[columnas_sin_id]
df_malos = df_malos[columnas_sin_id]

# ----- UNIÓN Y LIMPIEZA -----
df_total = pd.concat([df_real[columnas_sin_id], df_buenos, df_malos], ignore_index=True)
df_total = df_total.dropna()

# ----- DEPURACIÓN POR RANGOS VÁLIDOS -----
df_total = df_total[
    (df_total['Humedad'] >= 0) & (df_total['Humedad'] <= 100) &
    (df_total['Temperatura'] >= 0) & (df_total['Temperatura'] <= 50) &
    (df_total['Humedad_Suelo'] >= 0) & (df_total['Humedad_Suelo'] <= 4095) &
    (df_total['Luminosidad'] >= 0) & (df_total['Luminosidad'] <= 100) &
    (df_total['Calidad_Aire'] >= 0) & (df_total['Calidad_Aire'] <= 4095) &
    (df_total['Calidad_Agua'] >= 0) & (df_total['Calidad_Agua'] <= 4095)
].reset_index(drop=True)
```

Fuente: Autoría

Una vez ejecutado el script de depuración, la información resultante se limpia y se carga nuevamente en la base de datos, esta vez con los datos validados y depurados. En las imágenes siguientes se observa la cantidad final de registros obtenidos para cada cultivo, resultando en un total de 1000 datos para albahaca y 11919 para orégano, los cuales serán utilizados en la etapa de etiquetado según el estado correspondiente de cada cultivo.

Figura 58

Depuración de Datos Albahaca

ID	Fecha	Humedad	Temperatura	Humedad_Suelo	Luminosidad	Calidad_Aire	Calidad_Agua
1	2025-05-24 17:36:59	61.3	21	2863	96	2901	665
2	2025-05-24 17:39:32	63.5	21.4	2866	96	2911	764
3	2025-05-24 17:44:33	62.8	21.5	2897	96.3	2923	773
9998	2025-06-30 03:56:43	21.3928	4.51334	3567	5.56213	3655	972
9999	2025-06-30 03:56:43	3.57379	8.56825	4041	6.79233	3928	938
10000	2025-06-30 03:56:43	20.188	14.7251	3916	2.17155	3682	965

Fuente: Autoría

Figura 59

Depuración de Datos Orégano

11917	2025-06-30 03:54:42	14.2809	10.4858	4071	16.5111	3824	853
11918	2025-06-30 03:54:42	2.32572	0.765319	3784	9.41959	3956	912
11919	2025-06-30 03:54:42	18.8281	12.9401	3597	3.56745	3586	865

Fuente: Autoría

3.16.3. Transformación

Concluida la etapa de preprocesamiento, se da inicio al proceso de transformación, el cual consiste en la clasificación de los datos previamente depurados. Este procedimiento es fundamental para asegurar que únicamente se etiqueten registros válidos, evitando así la propagación de datos erróneos en las siguientes fases. La clasificación permite organizar los datos que serán exportados posteriormente para el entrenamiento del modelo, tal como se representa en el diagrama que se muestra a continuación.

Figura 60

Proceso de Transformación KDD



Fuente: Autoría

Una vez finalizada la depuración de los datos, se llevó a cabo la asignación de niveles de estado para cada cultivo mediante un proceso de clasificación supervisada. Para ello, se definieron tres clases que representan los diferentes estados del cultivo: Clase 1, correspondiente a un estado malo; Clase 2, asociada a un estado regular; y Clase 3, que representa un estado bueno.

Es importante aclarar que no se contempla la categoría de estado "excelente", dado que técnicamente implicaría que los sensores operen bajo condiciones ideales permanentes, lo cual no es viable debido a los márgenes de error inherentes en las mediciones (± 1). Por lo tanto, considerar un estado "excelente" sería incorrecto desde el punto de vista técnico y poco representativo de las condiciones reales.

Tabla 40*Marcaje de los estados de los cultivos (Albahaca y Orégano)*

Clase	Estado
1	Malo
2	Regular
3	Bueno

Fuente: Autoría

La generación de los datos etiquetados se realizó desde la fase de siembra de las plántulas de albahaca y orégano. Para construir los tres escenarios definidos (malo, regular y bueno), fue necesario exponer los cultivos a distintas condiciones ambientales, llevando variables como humedad, luminosidad, calidad del aire y calidad del agua a sus valores límite según el estado deseado.

Los rangos establecidos en la Tabla 40 fueron definidos con base en los criterios proporcionados por el especialista en cultivos hidropónicos e indoor que participó en este proyecto. Su conocimiento permitió determinar los valores adecuados para cada parámetro, garantizando que la clasificación de los estados del cultivo se ajuste a condiciones reales y técnicas del entorno controlado.

Tabla 41*Rangos de los estados de los cultivos (Albahaca y Orégano)*

Parámetro	Estado Bueno (3)	Estado Regular (2)	Estado Malo (1)
Temperatura (°C)	16 - 25	12 - 15 y 26 - 30	< 12 o > 30
Humedad (%)	50 - 70	30 - 49 y > 70	< 30
Humedad Suelo	100 - 300 (ADC)	301 - 1000 (ADC)	< 100 o > 1000
Luminosidad (%)	60 - 90	30 - 59	< 30 o > 90
Calidad Aire	≤ 2000 (ADC)	2001 - 3000 (ADC)	> 3000
Calidad Agua	≤ 600 (ADC)	601 - 800 (ADC)	> 800

Fuente: Autoría

Las mediciones fueron registradas con una frecuencia de cada cinco minutos, permitiendo obtener un conjunto de datos robusto y representativo. Este proceso dio como

resultado 10.000 registros etiquetados para albahaca y 12.000 registros para orégano, datos que serán utilizados en la fase de entrenamiento del modelo.

Figura 61

Distribución de registros según el estado del cultivo (Albahaca)

```
Resumen de clases asignadas:
Clase 1 (MALO): 3000 registros
Clase 2 (REGULAR): 4000 registros
Clase 3 (BUENO): 3000 registros
```

Fuente: Autoría

Figura 62

Distribución de registros según el estado del cultivo (Orégano)

```
Resumen de clases asignadas:
Clase 1 (MALO): 3572 registros
Clase 2 (REGULAR): 5347 registros
Clase 3 (BUENO): 3000 registros
```

Fuente: Autoría

3.16.4. Algoritmo de Árbol Randómico (Random Forest)

Random Forest es capaz de manejar datos con ruido, valores atípicos y correlaciones no lineales, características comunes en sistemas agrícolas con variables como temperatura, humedad, calidad del aire, luminosidad y calidad del agua. Su capacidad para evaluar la importancia de cada variable también aporta ventajas adicionales al permitir entender cuáles son los factores más determinantes en el estado del cultivo.

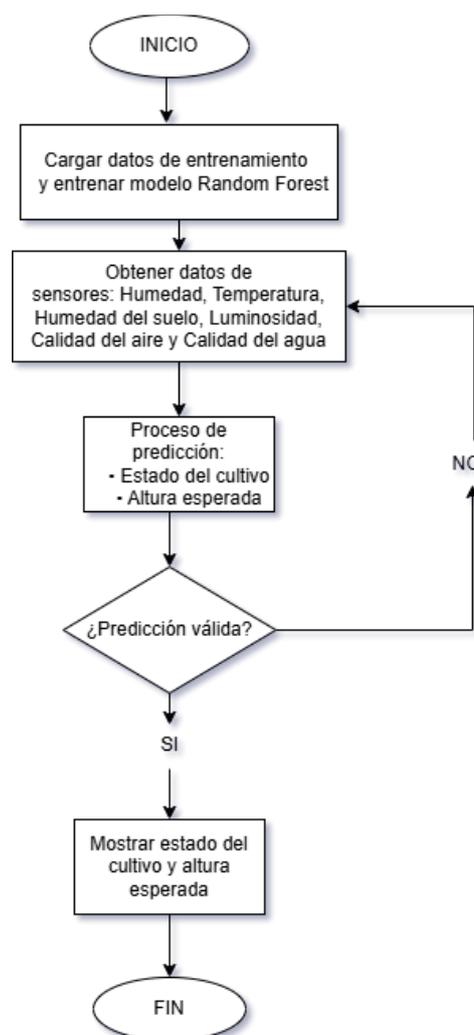
A continuación, se presenta el diagrama de flujo que describe el funcionamiento general del sistema de predicción basado en el modelo Random Forest, el cual se muestra en la Figura 63. Este diagrama representa el proceso desde la carga de los datos de entrenamiento y la

generación del modelo, hasta la adquisición de datos en tiempo real a través de los sensores de humedad, temperatura, humedad del suelo, luminosidad, calidad del aire y calidad del agua.

Posteriormente, el modelo realiza el proceso de predicción, generando dos salidas principales: el estado del cultivo y la altura esperada. El sistema incluye una verificación para determinar si la predicción es válida; en caso de que los datos no sean correctos, se retorna al bloque de adquisición para solicitar una nueva lectura. En cambio, si la predicción es válida, se muestra al usuario el estado del cultivo junto con la altura estimada, finalizando así el ciclo operativo del sistema.

Figura 63

Diagrama de flujo del proceso de predicción con Random Forest



Fuente: Autoría

Para la validación del modelo aplicado al cultivo de albahaca se empleó la estrategia de partición de datos 80/20, donde el 80 % fue destinado al entrenamiento y el 20 % a la validación. Esta división se consideró adecuada, ya que permite que el modelo disponga de una cantidad considerable de datos para aprender correctamente los patrones de comportamiento del cultivo, mientras que el porcentaje restante garantiza una validación efectiva sobre datos que no han sido vistos previamente. Este tipo de metodología es ampliamente utilizada cuando se cuenta con un conjunto de datos balanceado y representativo, como es el caso de este proyecto.

Los resultados obtenidos en la evaluación del modelo fueron altamente satisfactorios, logrando un 100 % en las métricas de accuracy, precisión, recall y F1-score, lo que refleja la capacidad del modelo para clasificar correctamente los estados del cultivo. Por otro lado, se realizó también una estimación de la altura esperada por semana, tomando como referencia datos del cultivo tradicional de albahaca. La proyección de crecimiento indica que en la semana 1 la altura estimada es de 6.2 cm, en la semana 2 asciende a 8.2 cm, en la semana 3 llega a 10.2 cm, y finalmente en la semana 4 alcanza los 12.2 cm, lo que corresponde a un crecimiento progresivo acorde a las condiciones del sistema.

Figura 64

Resultados del modelo Random Forest para el cultivo de albahaca

```
Evaluación del modelo (80/20):
✓ Accuracy total      : 100.00%
✓ F1-score promedio  : 100.00%
✓ Precisión promedio : 100.00%
✓ Recall promedio    : 100.00%

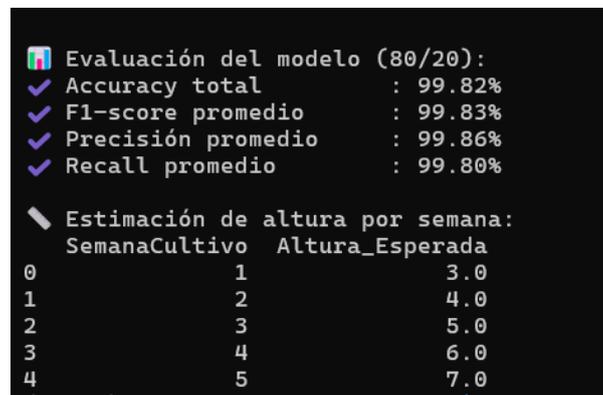
Estimación de altura por semana:
SemanaCultivo  Altura_Esperada
0              1           6.2
1              2           8.2
2              3          10.2
3              4          12.2
```

Fuente: Autoría

En el caso del cultivo de orégano, el modelo fue evaluado bajo la misma metodología 80/20, obteniendo resultados bastante satisfactorios. El modelo alcanzó un 99.82 % de accuracy, con métricas de precisión, recall y F1-score superiores al 99.80 %, lo que refleja un desempeño robusto y confiable. Además, se realizó la estimación de la altura esperada por semana, observándose un crecimiento progresivo que inicia en 3 cm en la semana 1 y se extiende hasta 7 cm en la semana 5, lo cual se encuentra dentro de los parámetros esperados según las condiciones controladas del cultivo.

Figura 65

Resultados del modelo Random Forest para el cultivo de orégano



Fuente: Autoría

En la Figura 66 se muestra la representación de uno de los árboles que conforman el modelo Random Forest para la Albahaca utilizado en este proyecto. Este árbol refleja cómo el algoritmo toma decisiones a partir de las condiciones de las variables ambientales registradas. El proceso de decisión inicia evaluando la variable humedad, que funciona como nodo raíz, y posteriormente se ramifica según los valores de otras variables como calidad del aire, humedad del suelo, calidad del agua, luminosidad y temperatura.

Cada nodo contiene una condición específica que permite determinar el camino hacia las ramas siguientes, hasta llegar a una hoja donde se asigna la clase correspondiente al estado del cultivo (Clase 1: Malo, Clase 2: Regular, Clase 3: Bueno). Esta figura permite comprender de manera clara la lógica de clasificación interna de cada árbol dentro del conjunto del modelo.

Figura 66

Representación de un árbol del modelo Random Forest para el cultivo de albahaca

```

● Árbol #297 del Random Forest:
|--- Humedad <= 42.49
|   |--- class: 0.0
|--- Humedad > 42.49
|   |--- Calidad_Aire <= 1423.50
|   |   |--- Humedad_Suelo <= 672.00
|   |   |   |--- Humedad_Suelo <= 150.50
|   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |--- Humedad_Suelo > 150.50
|   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |--- Humedad_Suelo > 672.00
|   |   |   |--- class: 1.0
|   |   |--- Calidad_Aire > 1423.50
|   |   |--- Humedad <= 64.48
|   |   |   |--- Calidad_Agua <= 512.50
|   |   |   |   |--- Calidad_Agua <= 462.00
|   |   |   |   |   |--- Humedad <= 62.40
|   |   |   |   |   |   |--- Humedad_Suelo <= 979.50
|   |   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |   |   |--- Humedad_Suelo > 979.50
|   |   |   |   |   |   |   |--- class: 1.0
|   |   |   |   |   |--- Humedad > 62.40
|   |   |   |   |   |   |--- Luminosidad <= 90.67
|   |   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |   |   |--- Luminosidad > 90.67
|   |   |   |   |   |   |   |--- class: 1.0
|   |   |   |   |--- Calidad_Agua > 462.00
|   |   |   |   |--- Humedad <= 61.98
|   |   |   |   |   |--- Calidad_Agua <= 465.00
|   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |   |--- Calidad_Agua > 465.00
|   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |--- Humedad > 61.98
|   |   |   |   |   |--- Temperatura <= 18.73
|   |   |   |   |   |   |--- Calidad_Aire <= 1562.00
|   |   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |   |   |--- Calidad_Aire > 1562.00
|   |   |   |   |   |   |   |--- Luminosidad <= 88.76
|   |   |   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |   |   |   |--- Luminosidad > 88.76
|   |   |   |   |   |   |   |   |--- class: 1.0
|   |   |   |   |   |--- Temperatura > 18.73
|   |   |   |   |   |   |--- Calidad_Aire <= 1439.50
|   |   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |   |   |   |--- Calidad_Aire > 1439.50
|   |   |   |   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |--- Calidad_Agua > 512.50
|   |   |   |--- class: 1.0
|   |--- Humedad > 64.48
|   |   |--- Luminosidad <= 88.71
|   |   |   |--- Humedad <= 67.53
|   |   |   |   |--- class: 2.0
|   |   |   |--- Humedad > 67.53
|   |   |   |   |--- class: 1.0
|   |   |--- Luminosidad > 88.71
|   |   |   |--- Calidad_Aire <= 1425.00
|   |   |   |   |--- class: 1.0
|   |   |   |--- Calidad_Aire > 1425.00
|   |   |   |   |--- class: 1.0

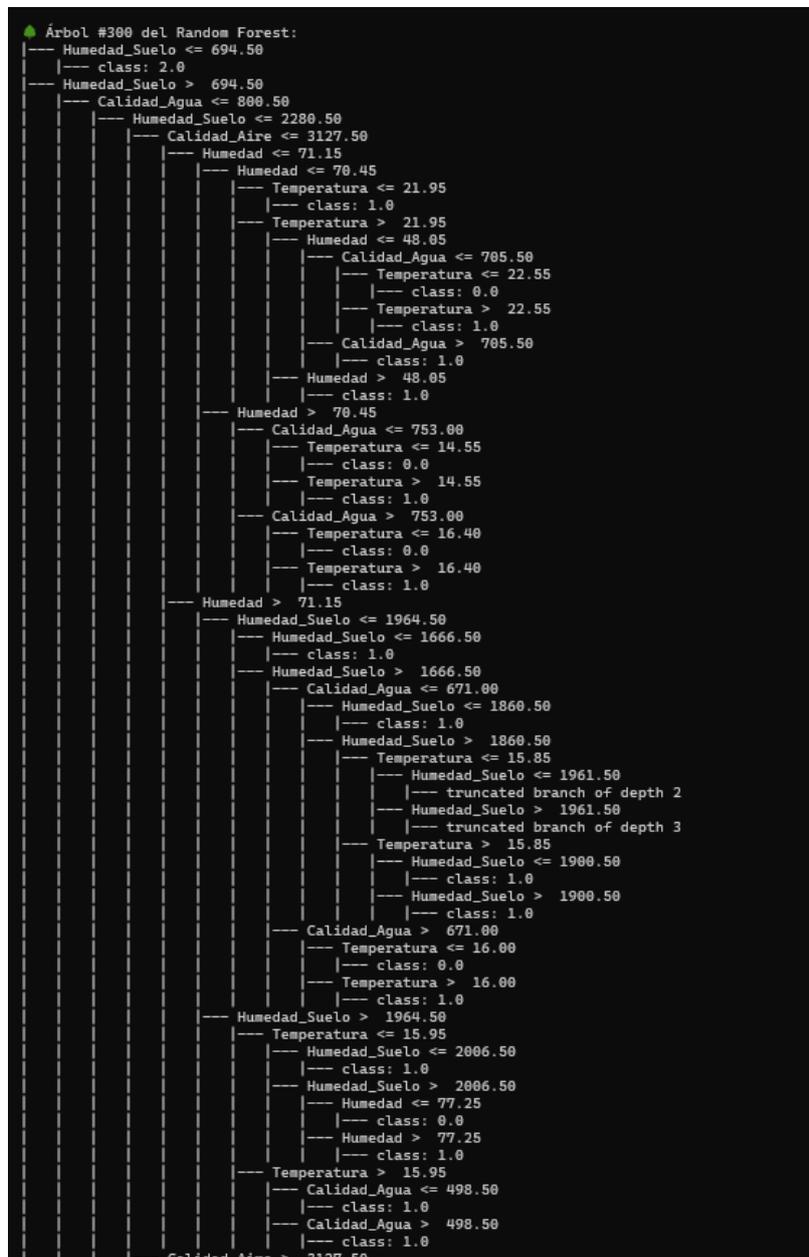
```

Fuente: Autoría

A continuación, se presenta uno de los árboles que conforman el modelo Random Forest aplicado al cultivo de orégano, el cual refleja el proceso de toma de decisiones a partir de variables ambientales como humedad del suelo, humedad, temperatura, calidad del agua y calidad del aire. Cada nodo establece una condición que permite clasificar el estado del cultivo en alguna de las tres categorías definidas: malo, regular o bueno.

Figura 67

Árbol de decisión del modelo Random Forest para el cultivo de orégano



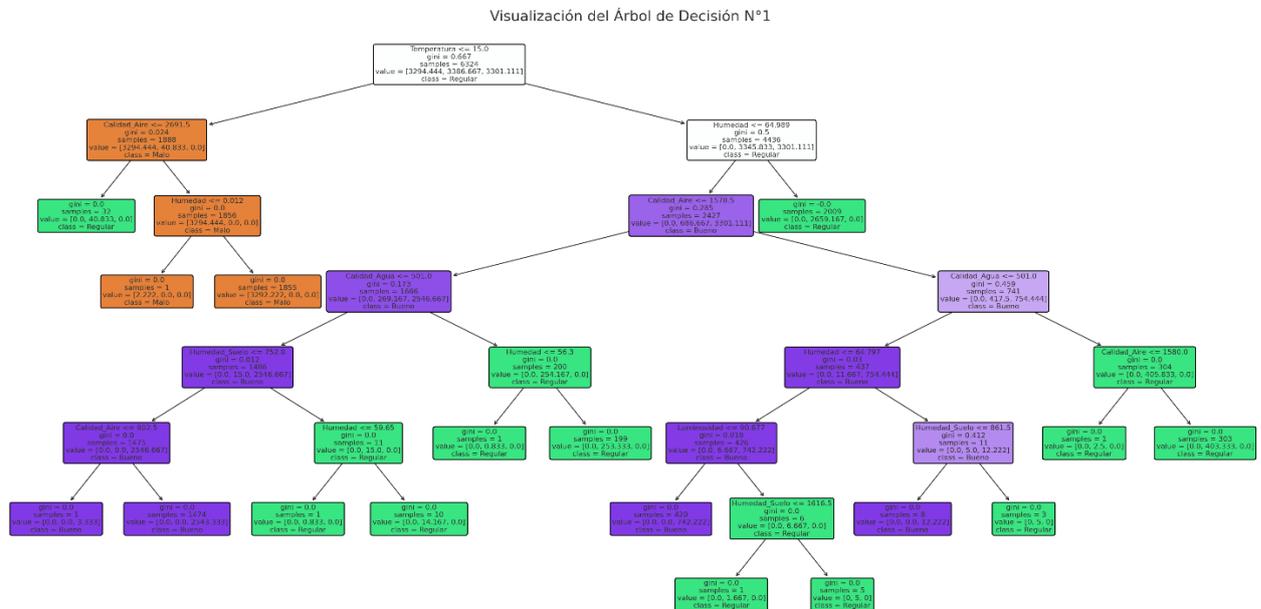
Fuente: Autoría

La representación gráfica muestra un árbol de decisión del modelo Random Forest aplicado al cultivo de albahaca, donde se evidencia que las variables con mayor peso en la clasificación son la temperatura, la humedad del suelo y la calidad del aire, ya que se ubican en los niveles superiores del árbol. Esto indica que estas variables tienen mayor relevancia en el proceso de decisión del modelo. Asimismo, es posible observar cómo la combinación de

varios parámetros define con precisión la clasificación hacia los tres estados del cultivo. Este comportamiento puede apreciarse en la Figura 68.

Figura 68

Primer Arbol del modelo Random Forest (Albahaca)

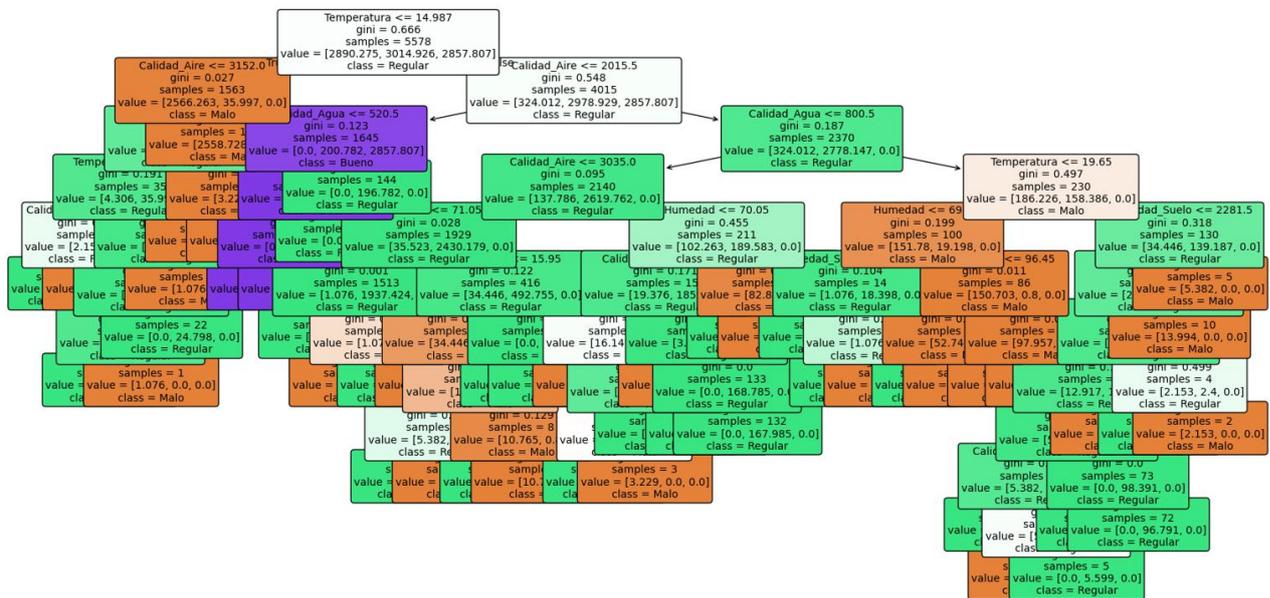


Fuente: Autoría

En este árbol de decisión se observa que las variables con mayor impacto en la clasificación son principalmente la temperatura, la calidad del aire y la calidad del agua, ya que aparecen en los primeros niveles del árbol. Este comportamiento refleja que estas variables tienen mayor influencia en determinar el estado del cultivo de orégano. Además, se aprecia que los nodos presentan bajos valores de índice Gini, lo que indica una alta pureza en las decisiones tomadas por el árbol. Esto demuestra que el modelo logra separar de manera eficiente los datos entre las clases malo, regular y bueno, especialmente cuando las combinaciones de las condiciones ambientales se encuentran cercanas a los límites establecidos.

Figura 69

Primer árbol de decisión del modelo para orégano



Fuente: Autoría

La Figura 70 presenta la distribución porcentual de importancia para las seis variables consideradas dentro del cultivo de albahaca. Se observa que la humedad del suelo es la variable con mayor peso en la clasificación, con una contribución aproximada del 31 %. Le siguen en orden de relevancia la humedad ambiental (21 %) y la calidad del agua (15 %), mientras que la temperatura presenta la menor influencia con un valor inferior al 5 %. Este comportamiento es coherente con las condiciones de cultivo indoor, donde la disponibilidad hídrica y la calidad del recurso juegan un papel determinante en el desarrollo de la planta.

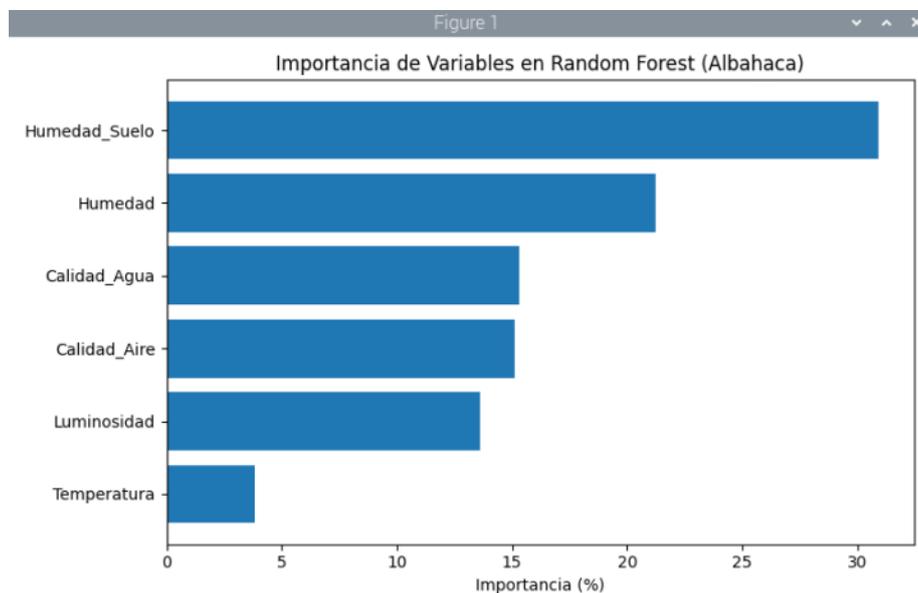
Es importante señalar que estos valores de importancia son:

- Objetivos, ya que son calculados automáticamente por el algoritmo.
- Basados en la teoría de la información, donde una menor entropía implica mayor certeza y, por tanto, una mejor división en los nodos del árbol.

- Estables, dado que cuando el modelo incluye una cantidad suficiente de árboles y profundidad adecuada, los pesos tienden a estabilizarse.
- Validados empíricamente, puesto que si el modelo demuestra buena generalización sobre los datos de prueba, se asume que las ponderaciones asignadas reflejan correctamente el comportamiento del sistema.

Figura 70

Importancia relativa de las variables predictoras en el modelo Random Forest para albahaca.

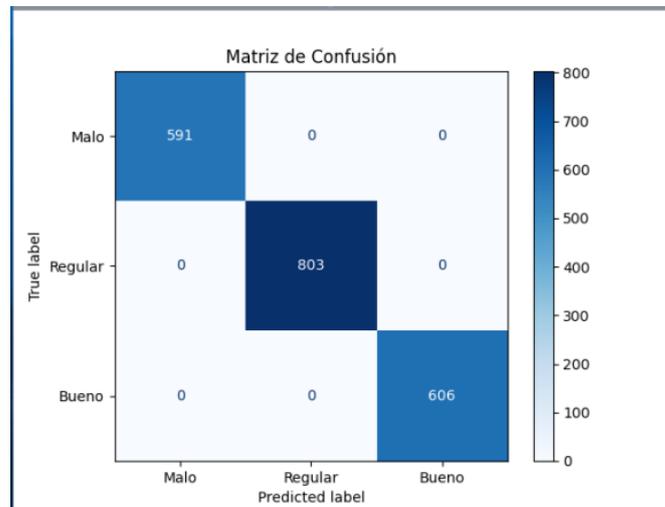


Fuente: Autoría

Para validar el rendimiento del modelo, se empleó una partición del 80% para entrenamiento y 20% para prueba. La matriz de confusión obtenida (Figura 71) muestra una clasificación perfectamente diferenciada entre las tres clases ("Malo", "Regular" y "Bueno"), sin presencia de errores de predicción, además se clasificaron correctamente 591 muestras de la clase "Malo", 803 de la clase "Regular" y 606 de la clase "Bueno". La falta total de falsos positivos o negativos indica un nivel de ajuste óptimo del modelo sobre el conjunto de validación, aunque será necesario evaluar este comportamiento en escenarios de producción con datos reales en tiempo real.

Figura 71

Matriz de confusión obtenida en la validación del modelo para albahaca



Fuente: Autoría

3.17. Bloque de Visualización

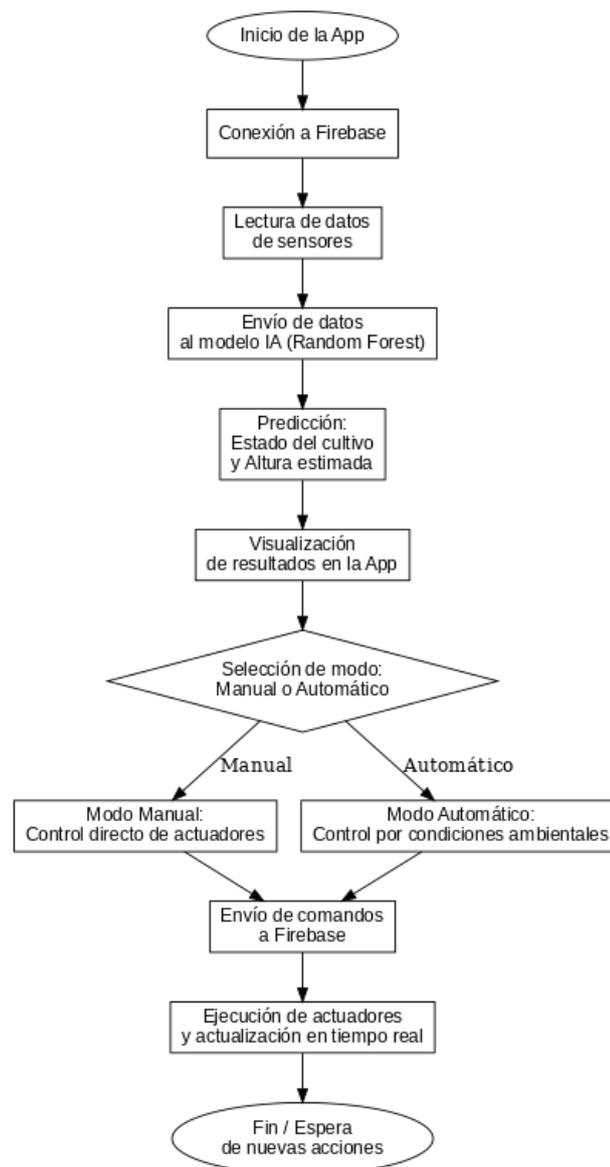
El proceso de visualización se desarrolló en función de los objetivos planteados en este proyecto, utilizando herramientas de código abierto que permiten la implementación de aplicaciones móviles con capacidad de conexión remota. Este bloque comienza su funcionamiento a partir de la lectura de datos realizada por el nodo central, el cual extrae la información directamente del módulo de adquisición. A partir de ello, el bloque de procesamiento ejecuta el modelo de aprendizaje supervisado, específicamente el algoritmo Random Forest, encargado de predecir el estado del cultivo y la altura estimada.

Una vez concluido el procesamiento, los datos individuales provenientes de los sensores, junto con los resultados generados por el modelo de predicción, son enviados hacia la plataforma de visualización mediante el uso de una base de datos en la nube, en este caso Firebase Realtime Database, la cual permite sincronizar datos de forma inmediata entre la aplicación móvil y el sistema físico.

Esta integración permite que la aplicación móvil, desarrollada con el framework Ionic, mantenga una conexión constante con la base de datos, facilitando la visualización en tiempo real de cada una de las variables ambientales del cultivo, además de mostrar el resultado de la clasificación predictiva de su estado. La interfaz gráfica permite al usuario consultar estos datos de forma sencilla y clara, y adicionalmente interactuar con los actuadores de manera remota.

Figura 72

Diagrama de flujo del funcionamiento del bloque de visualización



Fuente: Autoría

El flujo operacional correspondiente al bloque de visualización, con un enfoque lógico, se describe en la Figura 72, el cual refleja cómo se realiza la comunicación entre los diferentes módulos del sistema y la aplicación móvil.

La pantalla de inicio de la aplicación AgroAI cumple la función de presentación e ingreso al sistema. En su interfaz se muestra el nombre del proyecto, el eslogan “Soluciones inteligentes para tu cultivo”, junto con la identificación de la universidad, la carrera y el trabajo de titulación al que pertenece este desarrollo.

Visualmente, integra un diseño amigable con el usuario, cuenta con elementos gráficos relacionados al entorno agrícola y tecnológico. En la parte inferior se encuentran los botones de navegación que permiten al usuario seleccionar el cultivo de interés, ya sea albahaca u orégano, desde donde podrá acceder a las funcionalidades específicas para cada uno, como la visualización de datos, control de actuadores y el estado predictivo del cultivo.

Figura 73

Pantalla de inicio de la aplicación AgroAI



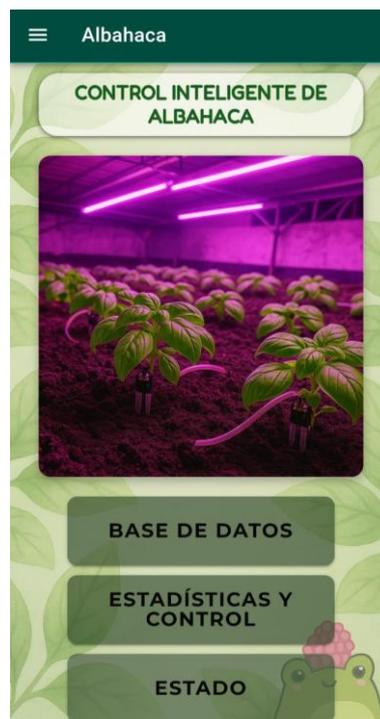
Fuente: Autoría

La interfaz correspondiente al cultivo de albahaca permite al usuario acceder a la información operativa y al control del sistema en tiempo real. Dentro de sus funcionalidades principales se encuentra la visualización de las variables ambientales asociadas al cultivo, tales como humedad, temperatura, humedad del suelo, calidad del aire, calidad del agua y luminosidad.

Además, la interfaz muestra el resultado de la predicción del estado del cultivo (malo, regular o bueno) generado por el modelo de Random Forest, junto con la altura estimada en función de la semana de desarrollo del cultivo.

Figura 74

Interfaz de monitoreo y control del cultivo de albahaca



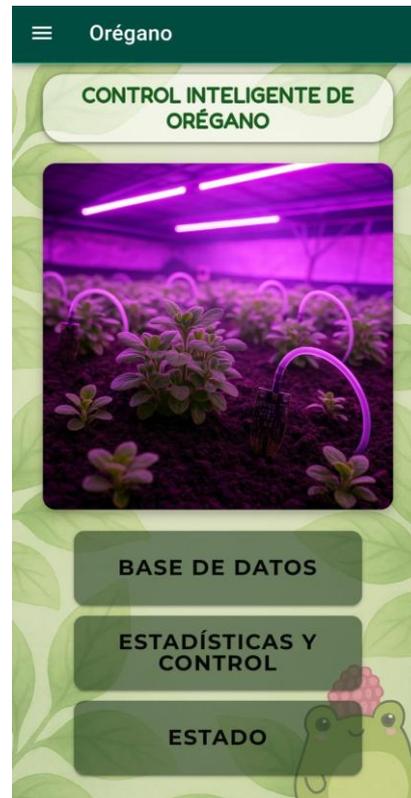
Fuente: Autoría

La sección correspondiente al cultivo de orégano integra las funcionalidades necesarias para la gestión eficiente del sistema. Desde esta interfaz, el usuario puede consultar en tiempo real las variables operativas asociadas al cultivo, acceder al historial de datos almacenados y

realizar acciones de control sobre los actuadores disponibles, así también como la toma de decisiones mediante el soporte de un algoritmo de entrenamiento respectivo para cada cultivo.

Figura 75

Interfaz de monitoreo y control del cultivo de orégano



Fuente: Autoría

En este bloque de la aplicación, se presenta la plantilla destinada a la gestión del módulo de predicción, la cual ha sido diseñada para ser funcional tanto en el cultivo de albahaca como en el de orégano, manteniendo una estructura operativa estandarizada. A pesar de compartir el mismo diseño visual y distribución de funciones, cada plantilla está vinculada a su respectivo modelo de predicción, lo que permite que los cálculos y resultados se ajusten a las condiciones y características específicas de cada cultivo.

Esta sección integra funcionalidades clave como el acceso al dashboard, donde se muestran las variables actuales del cultivo; el apartado de historial, que permite consultar registros anteriores; una sección de recomendaciones, generada con base en el análisis de datos;

y la opción de generación de reportes en PDF, orientada a documentar el estado y comportamiento del cultivo.

Figura 76

Interfaz del bloque de predicción en la aplicación móvil



Fuente: Autoría

CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los análisis e interpretaciones correspondientes al funcionamiento del sistema de monitoreo y predicción aplicado al cultivo indoor de albahaca y orégano. Se detalla la evaluación del modelo predictivo basado en algoritmos de Inteligencia Artificial, específicamente Random Forest, utilizado para la clasificación del estado del cultivo y la estimación de la altura según las condiciones ambientales recolectadas. Asimismo, se exponen los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento, junto con la validación de las métricas implementadas que demuestran la efectividad del sistema. Este apartado también aborda la interpretación técnica de los resultados, permitiendo establecer qué tan eficiente y preciso es el modelo aplicado dentro de un entorno controlado de cultivo indoor.

Finalmente, se justifica la elección de las técnicas de IA empleadas, sus ventajas frente a otros métodos y su impacto directo en la optimización del manejo agronómico, la eficiencia operativa y la sostenibilidad del sistema.

4.1. Implementación Estructural del sistema

La estructura física destinada al sistema de cultivo indoor se diseñó considerando la optimización del espacio disponible, así como la estabilidad y la funcionalidad del sistema. Para su fabricación se empleó una estructura metálica tubular, seleccionada por su resistencia y durabilidad frente a las condiciones del entorno indoor.

El armazón cuenta con dos niveles de trabajo, fabricados en madera tratada, los cuales sirven como soporte para los contenedores de cultivo. La estructura posee una distribución que permite realizar un adecuado montaje de los sistemas de riego, iluminación y sensorización. Adicionalmente, se incorporaron arcos superiores metálicos que cumplen la función de soporte

para las luminarias artificiales que garantizan el fotoperiodo necesario para el desarrollo de los cultivos.

El área de trabajo se ubica dentro de un espacio total de 4.5 metros de largo por 2.8 metros de ancho, delimitando un espacio funcional de 3 metros de largo por 1.5 metros de ancho destinado específicamente al cultivo. Esta distribución permite ubicar de forma eficiente los nodos de monitoreo, el gateway de procesamiento y el punto de acceso para la conectividad inalámbrica del sistema, tal como se ilustra en la Figura 77.

Figura 77

Estructura física del sistema de cultivo indoor



Fuente: Autoría

Como parte del proceso de adecuación de la estructura, se realizaron perforaciones circulares en cada uno de los niveles, destinadas a permitir el ingreso y la correcta distribución de las tuberías del sistema de riego. Estas perforaciones fueron ejecutadas considerando la ubicación óptima para el paso de las conexiones hidráulicas, asegurando así un flujo adecuado dentro del sistema de cultivo.

Adicionalmente, se llevó a cabo un proceso de emplastado de toda la estructura de madera, con el objetivo de protegerla frente a la exposición constante a la humedad y posibles

filtraciones de agua. Este procedimiento resulta fundamental para evitar el deterioro del material, la generación de hongos o el desgaste progresivo, lo cual garantiza una mayor durabilidad y resistencia de la estructura en condiciones de operación continua dentro del entorno indoor.

Figura 78

Proceso de emplastado de la estructura del sistema de cultivo indoor



Fuente: Autoría

Una vez completada la construcción de la estructura, se procedió a la preparación del sustrato destinado al cultivo. A diferencia de los sistemas hidropónicos, en este proyecto se emplea un sistema basado en suelo, utilizando como componente principal abono orgánico tipo champiñonaza, enriquecido con minerales y materia orgánica. Este material es seleccionado por su alta capacidad de retención de humedad, aireación y aporte de nutrientes esenciales para el desarrollo adecuado de las plántulas.

Tabla 42

Composición nutricional del abono orgánico (champiñonaza) utilizado en el sustrato

Componente	Concentración
Nitrógeno (N)	1.18 %
Fósforo (P)	1.18 %
Potasio (K)	2.38 %
Calcio (Ca)	5.34 %
Magnesio (Mg)	0.65 %
Azufre (S)	1.50 %
Manganeso (Mn)	269.68 mg/kg
Zinc (Zn)	265.72 mg/kg
Boro (B)	20.00 mg/kg
Hierro (Fe)	1403.66 mg/kg
Cobre (Cu)	53.44 mg/kg
Materia orgánica	52 %
Relación C/N	15.38

Fuente: Autoría

La composición nutricional del abono utilizado se detalla en la Tabla 42, en donde se observan los niveles de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), así como micronutrientes clave para el desarrollo del cultivo como manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), hierro (Fe) y cobre (Cu).

Figura 79

Sustrato acondicionado con champiñonaza para el cultivo indoor



Fuente: Autoría

Complementariamente, se incorpora alga diatomea, la cual actúa como un biofertilizante natural, mejorando las condiciones microbiológicas del suelo, aportando minerales y funcionando además como un agente de control preventivo contra plagas y hongos del entorno.

Figura 80

Composición del sustrato utilizado en el sistema de cultivo indoor



Fuente: Autoría

Posterior a la preparación del sustrato, se realizó el trasplante de las plántulas, considerando una altura inicial promedio de 6 a 7 cm, medida desde la base del tallo hacia la parte superior, sin incluir la longitud de la raíz. Para este proceso, se establecieron distancias de separación específicas en función de las necesidades de desarrollo radicular y foliar de cada cultivo.

Figura 81

Medición de la plántula previo al trasplante al sistema de cultivo indoor



Fuente: Autoría

En el caso de la albahaca, la separación entre plantas se definió en 20 cm, tanto en sentido longitudinal como lateral, mientras que, para el cultivo de orégano, debido a su mayor desarrollo radicular y expansión en la etapa adulta, se estableció una separación de 30 cm entre plantas. Adicionalmente, se realizaron perforaciones sobre el sustrato con profundidades adecuadas para cada cultivo, siendo de 20 cm para la albahaca y 30 cm para el orégano su proyección máxima, asegurando de esta manera un espacio suficiente para un correcto anclaje y desarrollo de las raíces. Esta distribución garantiza condiciones óptimas para el crecimiento, evitando la competencia por nutrientes y favoreciendo la aireación del suelo. Este procedimiento se observa en la Figura 82.

Figura 82

Trasplante de plantas de Albahaca y Orégano



Fuente: Autoría

4.2. Implementación Electrónica del sistema

La conexión mostrada en la Figura 83 corresponde al sistema de distribución del riego para los cultivos. Esta conexión es de tipo “T”, cuya función es derivar el flujo proveniente del conducto principal hacia dos salidas independientes, cada una destinada a un cultivo específico. El suministro de agua se origina desde un tanque de almacenamiento con capacidad de 500 litros, conectado mediante tubería de ½ pulgada.

Para garantizar la estanqueidad del sistema y evitar posibles fugas ocasionadas por la presión de la red de agua potable, se reforzaron todas las uniones con cinta de teflón. Adicionalmente, se instalaron en cada línea de ingreso hacia los cultivos electroválvulas de 12V DC a 1A, las cuales permiten gestionar el flujo de riego tanto de forma manual como de manera automática, en función de las condiciones operativas definidas en el sistema.

Figura 83

Conexión hidráulica y electroválvulas para la gestión del riego en el cultivo indoor



Fuente: Autoría

Para la implementación de los nodos secundarios, fue necesario cumplir con los requerimientos establecidos en el ítem 3.6.3, que contemplan la utilización de cajas de protección destinadas a resguardar los dispositivos. Estas cajas cumplen la función de proteger los nodos frente a agentes externos, como el polvo y la humedad, que podrían afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.

Por tal motivo, se procedió a la fabricación de dos cajas individuales con dimensiones de 15×10 cm, una destinada al nodo del cultivo de albahaca y otra para el nodo del cultivo de orégano. En su interior se albergan tanto el microcontrolador como las conexiones de los diferentes sensores asociados a cada sistema, garantizando de esta manera su operación estable y segura dentro del entorno indoor.

Figura 84

Cajas de protección para los nodos de monitoreo del cultivo indoor



Fuente: Autoría

Se implementó una caja adicional con dimensiones de 15 × 15 cm, destinada exclusivamente a los actuadores de ambos cultivos, orégano y albahaca. En su interior se alojan los dispositivos responsables del control de riego, iluminación y ventilación, permitiendo centralizar y organizar el sistema de actuadores. Esta solución facilita el mantenimiento, protege los componentes eléctricos de agentes externos como polvo y humedad, y garantiza el correcto funcionamiento del sistema en el entorno indoor.

Figura 85

Alojamiento de actuadores para riego, ventilación e iluminación del cultivo

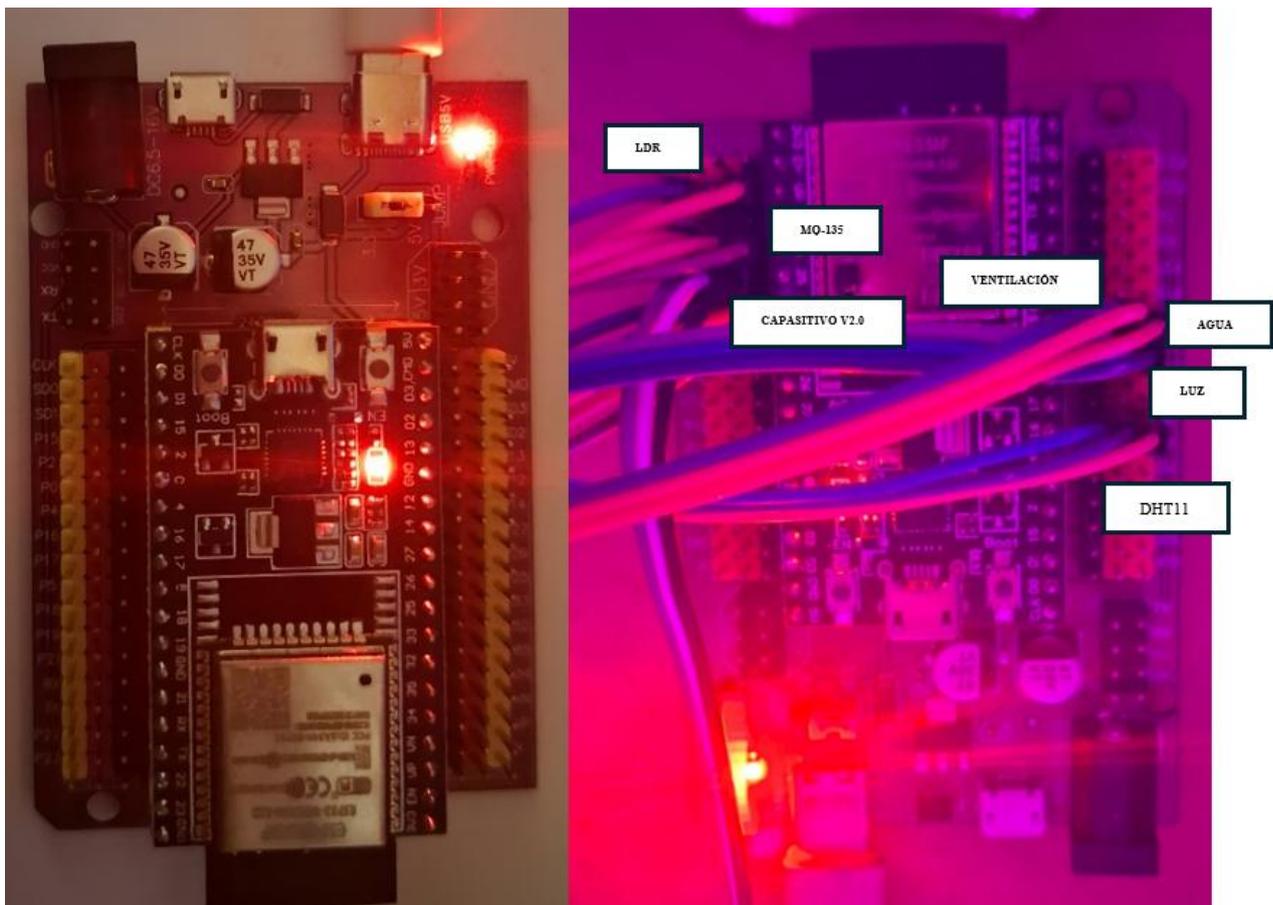


Fuente: Autoría

Internamente, cada caja de los nodos principales contiene las conexiones correspondientes a sus sensores, integradas a través de una placa PCB personalizada, que cumple la función de expansor. Esta placa permite distribuir de manera ordenada las salidas analógicas y digitales, disponiendo de los tres pines fundamentales: VCC, GND y PINOUT, lo cual facilita el acoplamiento eficiente y seguro de cada sensor hacia la placa principal del nodo. Esta disposición garantiza una conexión estable, reduce posibles fallos eléctricos y mejora la organización del sistema. Este montaje se observa en la Figura 86.

Figura 86

Distribución interna de la PCB y conexiones de sensores en el nodo principal



Fuente: Autoría

4.3. Pruebas de Hardware/Software

En esta sección se presentan las pruebas realizadas para validar el funcionamiento integral del sistema, tanto a nivel de hardware como de software. Se verifica el desempeño conjunto de cada uno de los módulos que conforman la solución, garantizando la correcta comunicación entre sensores, actuadores, nodos y plataforma de visualización.

4.3.1. Pruebas de Hardware/Software

En este apartado se presenta el cronograma de actividades correspondiente a las pruebas del sistema. En él se detallan las actividades realizadas, las fechas establecidas, el tipo de hardware involucrado, el lugar de ejecución, así como los resultados esperados de cada prueba y su respectiva duración. Toda esta información se encuentra resumida en la Tabla 43.

Tabla 43

Cronograma de Actividades para el Funcionamiento del Sistema

Cronograma de pruebas de funcionamiento del sistema

Nº de Prueba	Detalle de la prueba	Involucrados	Hardware/Software	Lugar de pruebas	Resultados a esperar	Duración
1	Verificación del funcionamiento de sensores ambientales (humedad, temperatura, suelo, aire, agua y luminosidad) en cada nodo secundario.	Autor	Nodos secundarios	Plataforma de sensores	Sensores operativos, datos precisos y sin errores de lectura.	Del 04 al 08 de mayo
2	Prueba de funcionamiento del nodo central, recepción y procesamiento de datos.	Autor	Nodo central	Nodo central	Nodo central recibe y procesa datos correctamente.	Del 09 al 12 de mayo
3	Validación de la comunicación entre nodo central, nodos secundarios y base de datos.	Autor	Nodo central y nodos secundarios	Red del sistema de monitoreo	Flujo de datos correcto entre nodos y almacenamiento en la base de datos.	Del 13 al 17 de mayo
4	Pruebas del sistema de actuadores (riego, ventilación e iluminación) de manera manual y automática.	Autor	Nodo de actuadores y nodo central	Placa de actuadores	Actuadores responden correctamente según los comandos manuales y automáticos.	Del 18 al 22 de mayo
5	Validación del modelo de IA (Random Forest) para predicción del estado del cultivo y altura estimada.	Autor	Nodo central y servidor IA	Servidor IA y nodo central	El modelo predice correctamente el estado del cultivo (malo, regular, bueno) y la altura esperada.	Del 23 al 27 de mayo
6	Pruebas de conexión y visualización en la aplicación móvil (Firebase y app).	Autor	Nodo central, Firebase y App	Plataforma Firebase y App móvil	Visualización correcta de datos, estados y control desde la app móvil.	Del 28 de mayo al 03 de junio
7	Prueba integral del sistema completo, incluyendo sensorización, actuadores, IA, base de datos y aplicación móvil.	Autor	Sistema completo	Área de cultivo indoor	Funcionamiento estable e integrado de todo el sistema en tiempo real.	Del 04 al 10 de junio

Fuente: Autoría

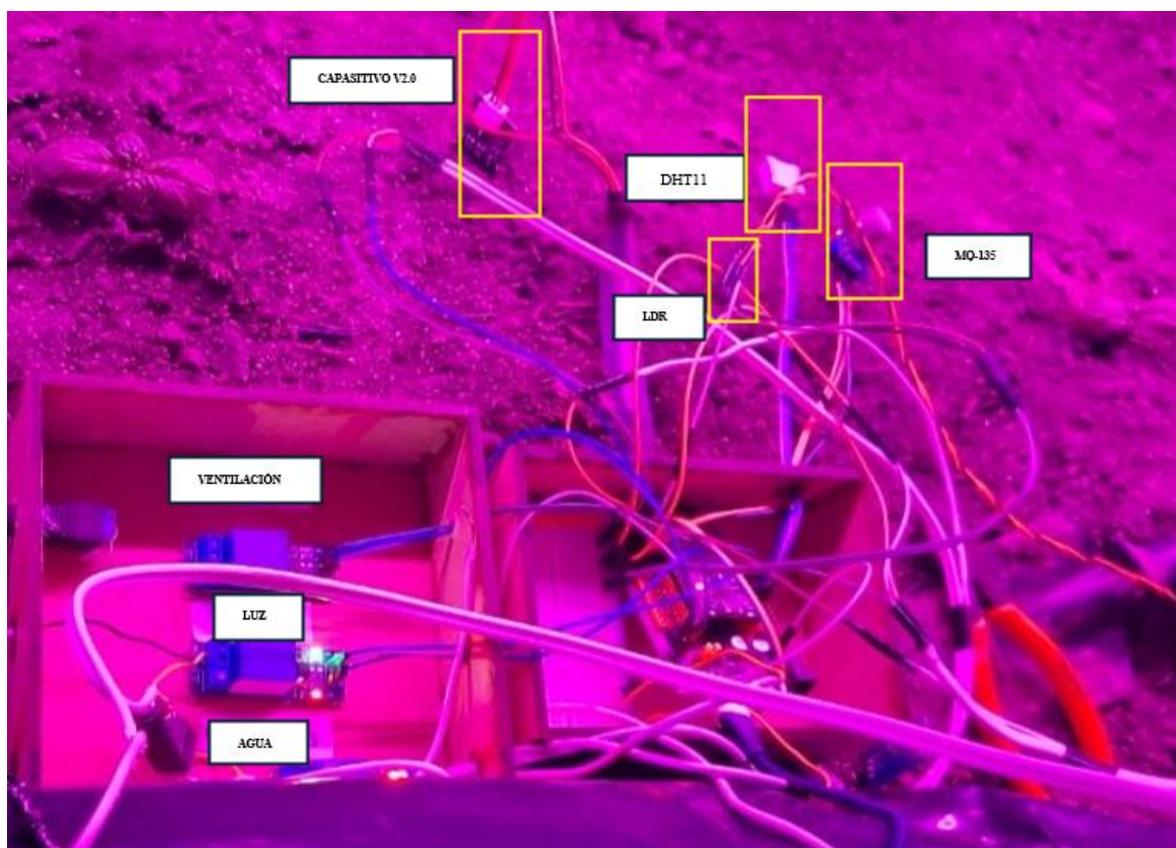
4.3.1.1. Pruebas de Acoplamiento de los Componentes

Para el desarrollo de las pruebas finales, se realizó inicialmente una verificación del acoplamiento de la placa con sus respectivos sensores, directamente en el ambiente de instalación. Esta prueba forma parte del bloque de adquisición de datos, y su objetivo es validar el comportamiento de los sensores y la correcta recepción de datos. En caso de detectarse lecturas fuera de los rangos esperados, se procede a realizar los ajustes y calibraciones necesarias para cada cultivo.

La Figura 87 presenta el acoplamiento preliminar de los sensores al nodo correspondiente, el cual se encuentra instalado en su caja, aún sin la cubierta de protección definitiva.

Figura 87

Acoplamiento de Sensores al Nodo para toma de Datos.



Fuente: Autoría

Una vez finalizada la integración física y el acoplamiento de los sensores en cada uno de los nodos, se realizaron pruebas orientadas a verificar la precisión y el correcto funcionamiento de los componentes. Estas pruebas fueron validadas mediante una lista de cotejo que permite obtener una valoración objetiva y estructurada. Este procedimiento se identifica como ‘Test de Acoplamiento y Precisión de Componentes’, el cual se describe en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 44

Test de Acoplamiento y Precisión de Componentes

Test de Acoplamiento y Precisión de Componentes			
N°	Descripción de la prueba	Valoración	
		Sí	No
1	Verificación del correcto montaje de sensores en la PCB	X	
2	Inspección del aseguramiento del circuito dentro de la caja protectora	X	
3	Validación del ajuste físico y eléctrico del microcontrolador ESP-8266	X	
4	Comprobación de precisión y estabilidad en las lecturas de sensores	X	

Fuente: Autoría

Resultados. - La Tabla 44 presenta la validación del correcto acoplamiento de los componentes electrónicos en cada uno de los nodos del sistema, garantizando su protección frente a posibles fallos eléctricos, cortocircuitos o daños por agentes externos como humedad o polvo. Adicionalmente, en la Figura 88 se evidencia el proceso de verificación de los datos obtenidos por los sensores de calidad de aire, calidad de agua y demás variables ambientales, cuyos resultados fueron contrastados con dispositivos de medición de referencia, asegurando así la precisión y fiabilidad de las lecturas dentro del entorno de cultivo.

Figura 88

Validación del Acoplamiento y Funcionamiento de Sensores en el Nodo



Fuente: Autoría

De acuerdo con los resultados obtenidos, es importante destacar que las pruebas de funcionamiento se realizaron inicialmente sobre el nodo correspondiente al cultivo de albahaca, con el objetivo de validar su desempeño y asegurar la correcta adquisición de datos. Una vez verificado su óptimo funcionamiento y la ausencia de errores, el mismo procedimiento se replicó de manera homóloga en el nodo del cultivo de orégano, garantizando así que ambos nodos operen correctamente bajo las mismas condiciones. La validación fue positiva, evidenciando que la precisión en la captura de datos es adecuada, respaldada además por el proceso previo de homologación aplicado a ambos sistemas.

4.3.1.2. Test de Funcionamiento del Nodo Central

En este apartado se detallan las pruebas de funcionamiento asociadas al nodo central, el cual integra los módulos de almacenamiento local, procesamiento de datos y su posterior visualización. Estas pruebas permiten asegurar el correcto desempeño de cada uno de los procesos vinculados al flujo de datos dentro del sistema. La Tabla 45 presenta el detalle de las validaciones realizadas.

Tabla 45*Test de Funcionamiento del Nodo Central*

Test de Funcionamiento del Nodo Central		Valoración	
Nº		Si	No
1	Creación de la base de datos local, generación de tablas y gestión de operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar).	X	
2	Prueba de extracción, limpieza y reducción de datos provenientes de los nodos de albahaca y orégano.	X	
3	Verificación del correcto funcionamiento del modelo Random Forest para la predicción del estado del cultivo (malo, regular, bueno) y estimación de altura.	X	
4	Validación de la visualización de datos en tiempo real, incluyendo variables ambientales, estado del cultivo y altura esperada.	X	

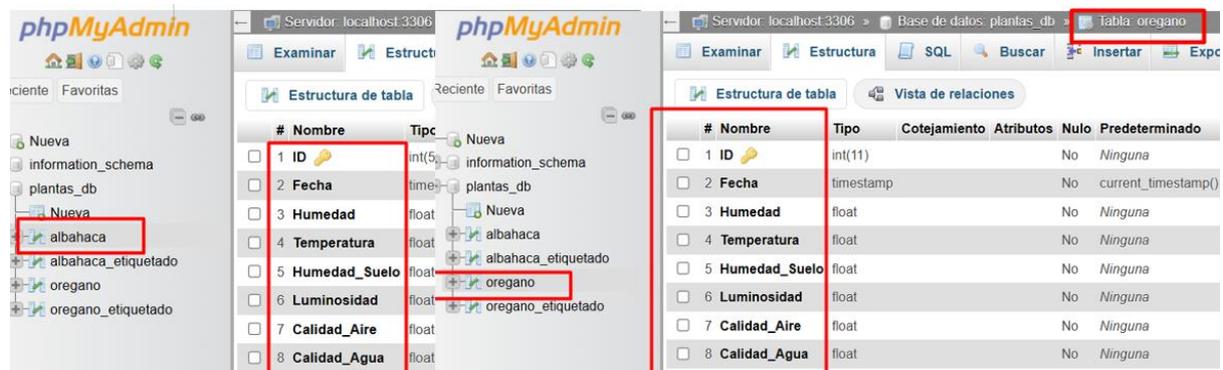
Fuente: Autoría

Resultados. – De acuerdo con la Tabla 45, se valida la precisión y el correcto funcionamiento del sistema indoor implementado para los cultivos de albahaca y orégano. Los resultados obtenidos reflejan un desempeño óptimo en la gestión de la base de datos, cumpliendo adecuadamente con el proceso de depuración y reducción de datos, seguido de su posterior carga en la base ya optimizada. Asimismo, se verifica la correcta clasificación del estado del cultivo mediante el modelo de aprendizaje y la adecuada visualización de los datos en tiempo real.

Respecto al manejo de la base de datos, se lleva a cabo la generación y actualización continua de los registros asociados a las variables monitoreadas. Cada dato es identificado mediante un ID único, acompañado de su respectiva marca de fecha y hora, lo cual permite asegurar la trazabilidad, integridad y respaldo de la información recopilada durante el monitoreo de los cultivos (véase Figura 89).

Figura 89

Creación de base de datos para cada cultivo



Fuente: Autoría

Para asegurar un desempeño eficiente del algoritmo de aprendizaje automático, resulta fundamental realizar un proceso de depuración sobre la base de datos original. Esta depuración consiste en generar una versión simplificada, considerando únicamente los parámetros más relevantes, tal como se detalló en la sección 3.16.2. A través de este procedimiento se obtiene una base de datos optimizada, que mejora la velocidad de procesamiento, reduce el margen de error y contribuye a una mayor precisión del modelo (véase Figura 90 y 91).

Figura 90

Depuración de Base de datos (Albahaca)

Tabla	Acción	Filas
<input type="checkbox"/> albahaca	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	10,951
<input type="checkbox"/> albahaca_etiquetado	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	10,000

Fuente: Autoría

Figura 91

Depuración de Base de datos (Orégano)

<input type="checkbox"/> oregano	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	15,000	InnoDB
<input type="checkbox"/> oregano_etiquetado	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	11,919	InnoDB

Fuente: Autoría

Para validar la precisión del modelo de clasificación implementado, se llevaron a cabo pruebas utilizando el algoritmo Random Forest previamente entrenado. Se incorporó manualmente un conjunto de datos correspondiente a un cultivo con condiciones óptimas, representando un estado nutricional adecuado. Esta muestra fue enviada al sistema de predicción, el cual clasificó correctamente el estado como 'bueno', confirmando así la confiabilidad del modelo. Esta validación permite asegurar que el sistema es capaz de identificar el estado real del cultivo, tanto de albahaca como de orégano, y que está en condiciones de ser utilizado como referencia para la toma de decisiones respecto al riego y la nutrición del suelo (véase Figura 92).

Figura 92

Predicción del Estado del Cultivo de Albahaca y Orégano

```

3/7/2025, 5:06:00 a. m. node: Albahaca
msg.payload: Object
  ▶ { estado: "3", altura: 19, semana: 7, descripcion: "● Bueno",
    fecha: 1751537160920 }

3/7/2025, 5:06:00 a. m. node: fb42daf140d75e0d
msg: string[100]
"Warning: msg properties can no longer override set node
properties. See bit.ly/nr-override-msg-props"

3/7/2025, 5:06:10 a. m. node: Albahaca
msg.payload: Object
  ▶ { estado: "3", altura: 19, semana: 7, descripcion: "● Bueno",
    fecha: 1751537170362 }

3/7/2025, 5:06:10 a. m. node: fb42daf140d75e0d
msg: string[100]
"Warning: msg properties can no longer override set node
properties. See bit.ly/nr-override-msg-props"

3/7/2025, 5:06:13 a. m. node: ef431303bbb662fd
msg: string[100]
"Warning: msg properties can no longer override set node
properties. See bit.ly/nr-override-msg-props"

3/7/2025, 5:06:13 a. m. node: Orégano
msg.payload: Object
  ▶ { estado: "3", altura: 8.5, diametro: 31.8, semana: 7,
    descripcion: "● Bueno" ... }

```

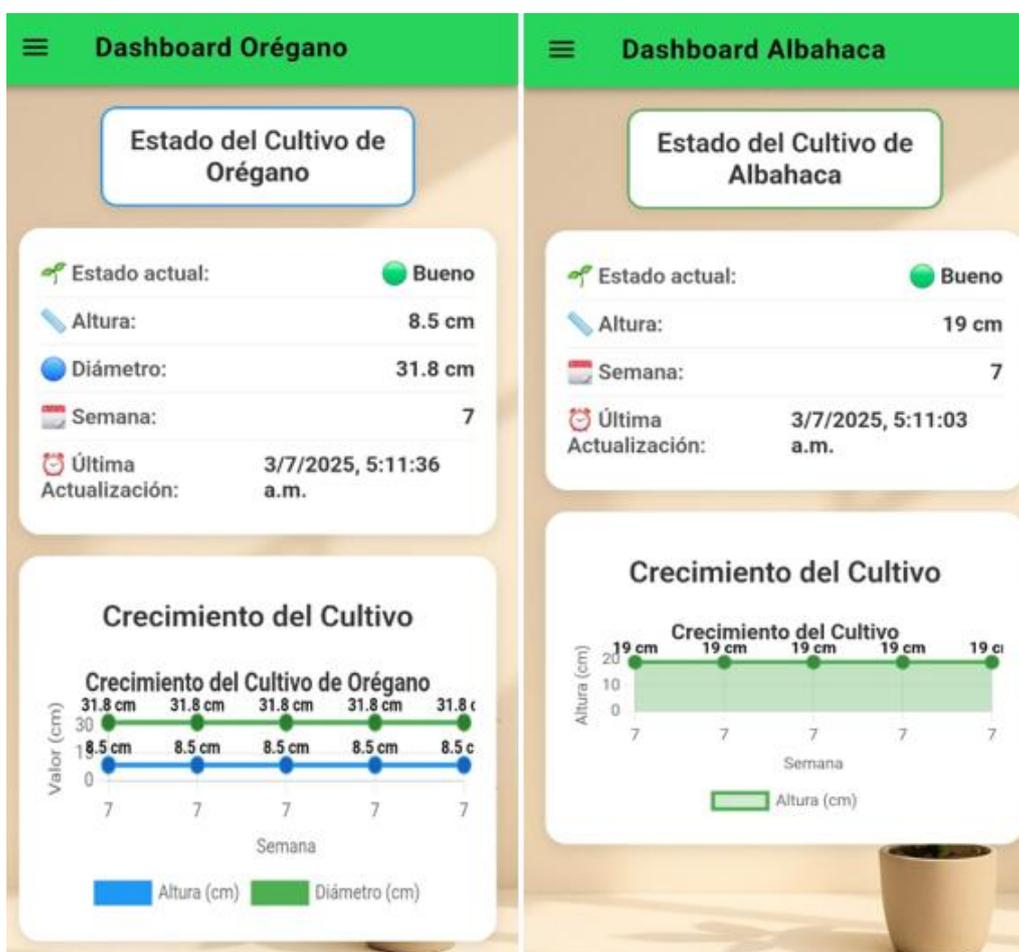
Fuente: Autoría

En la fase final del sistema, los datos adquiridos por cada nodo secundario son transmitidos hacia el modelo de clasificación entrenado con una frecuencia de actualización de cinco minutos. Este mecanismo permite procesar automáticamente las variables registradas y

generar una predicción en tiempo real del estado del cultivo, optimizando la toma de decisiones. La clasificación se lleva a cabo mediante el algoritmo de aprendizaje supervisado implementado, garantizando precisión y fiabilidad en los resultados. En la Figura 91 se muestra la interfaz de visualización que refleja los datos clasificados como estado bueno, ya almacenados correctamente en la base de datos.

Figura 93

Visualización de datos y Clasificación del Estado del cultivo de Albahaca y Orégano



Fuente: Autoría

4.3.1.3. Test de Comunicación entre Nodos

Concluida la verificación funcional de los componentes de hardware y software en cada uno de los nodos, se llevaron a cabo las pruebas correspondientes al enlace de comunicación

entre el nodo principal y los nodos secundarios. Estas pruebas permitieron validar la integridad y estabilidad de la transmisión de datos en condiciones reales de operación. La Tabla 46 detalla los resultados obtenidos durante este proceso.

Tabla 46

Test de Comunicación entre nodos

Test de Comunicación entre Nodos			
Nº	Descripción de pruebas	Valoración	
		Sí	No
1	Envío de datos desde el nodo secundario al servidor Node-RED mediante solicitud HTTP POST	X	
2	Confirmación de recepción de datos por parte del servidor y visualización en la interfaz de Node-RED	X	

Fuente: Autoría

Resultado. - Siguiendo los detalles presentados en la Tabla 39, se valida la correcta comunicación entre los nodos que conforman el sistema de monitoreo para cultivos indoor, cumpliendo así con los requerimientos funcionales establecidos en el ítem 3.7.

La Figura 92 ilustra la lógica implementada en el nodo sensor (ESP32), el cual recopila parámetros ambientales relevantes: temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, calidad del aire, calidad del agua y luminosidad. Estos datos se estructuran en formato JSON mediante la librería FirebaseJson, asegurando una representación jerárquica clara y eficiente.

Para el proceso de transmisión, se utiliza la clase HTTPClient de la ESP32, configurando la solicitud como POST hacia un endpoint específico del servidor Node-RED, en este caso: `http://192.168.68.107:1880/sensor-data`, definido específicamente para la recepción de los datos del nodo de orégano por parte del servidor Node-RED (véase en la Figura 94). Esta configuración asegura que el Gateway reconozca e identifique correctamente el origen del mensaje y procese los datos correspondientes a este cultivo.

Figura 94

Fragmento de código donde se define el endpoint del servidor de orégano

```

unsigned long lastSendTime = 0, fanTurnOnTime = 0, valveTurnOnTime = 0;
float airQualityPercent = 0.0, ldsvalue = 0.0;
const char* nodeRedServer = "http://192.168.68.107:1880/sensor-data";
float mapfloat(float v, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max) {

```

Fuente: Autoría

Por otro lado, en la Figura 95 se muestra el fragmento del código correspondiente al nodo sensor destinado al cultivo de albahaca, donde se especifica el endpoint configurado para la transmisión de datos hacia el servidor Gateway (Node-RED). Al igual que en el nodo de orégano, los parámetros ambientales (humedad, temperatura, humedad del suelo, calidad del aire, calidad del agua y luminosidad) son recolectados y empaquetados en formato JSON.

La solicitud HTTP se define mediante la clase HTTPClient, configurando como destino la URL `http://192.168.68.107:1880/sensor-albahaca`. Este endpoint exclusivo permite al Gateway distinguir correctamente la fuente del mensaje (en este caso, el nodo de albahaca),

Figura 95

Fragmento de código donde se define el endpoint del servidor de Albahaca

```

float luminosityPercent = mapfloat(ldsvalue, 0, 0, 100);
luminosityPercent = round(luminosityPercent * 10) / 10.0;
const char* nodeRedServer = "http://192.168.68.107:1880/sensor-albahaca";

if (soilMoisturePercent > 100) soilMoisturePercent = 100;
if (soilMoisturePercent < 0) soilMoisturePercent = 0;

```

Fuente: Autoría

La Figura 96 muestra el bloque de código que ejecuta dicha solicitud HTTP, enviando el cuerpo del mensaje en formato JSON. Esta estructura garantiza compatibilidad, legibilidad y fácil integración en el flujo de procesamiento de Node-RED.

Figura 96

Estructura del código para la transmisión de datos sensorales vía HTTP en el sistema de cultivo indoor

```

HTTPClient http;
http.begin(nodeRedServer);
http.addHeader("Content-Type", "application/json");

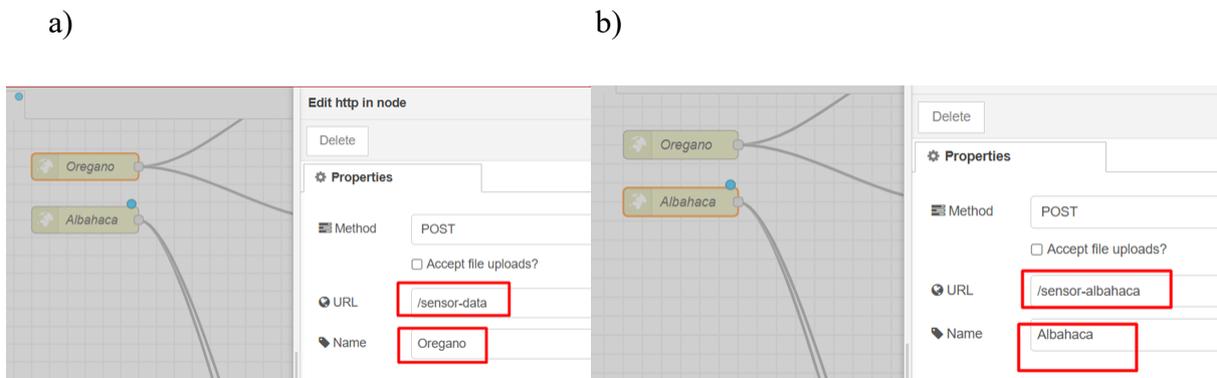
```

Fuente: Autoría

Como siguiente paso dentro de esta sección, se presenta la configuración de los nodos HTTP en Node-RED para la recepción diferenciada de datos provenientes de los nodos sensores de orégano y albahaca. Cada flujo ha sido diseñado con un identificador exclusivo mediante una URL específica, lo que permite segmentar la información por cultivo. En el caso del orégano, el nodo está configurado con el método POST y la ruta /sensor-data, mientras que para la albahaca se utiliza la ruta /sensor-albahaca.

Figura 97

Configuración de los nodos HTTP receptores en Node-RED: (a) Endpoint /sensor-data para el nodo sensor de orégano. (b) Endpoint /sensor-albahaca para el nodo sensor de albahaca.



Fuente: Autoría

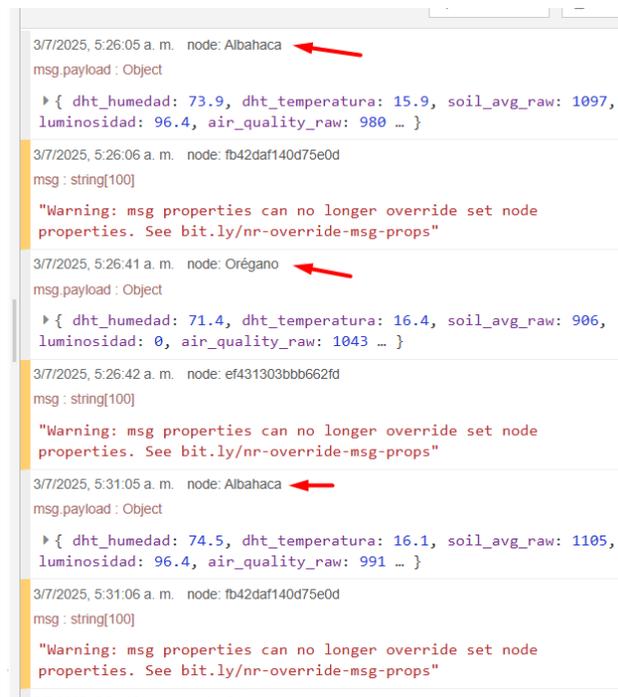
Para verificar la correcta visualización de los datos transmitidos desde los nodos de cultivo, se accedió al entorno de desarrollo Node-RED, donde se observaron las salidas generadas por cada nodo correspondiente a las plantas de albahaca y orégano. La información

proveniente de los sensores, tales como humedad ambiental, temperatura, humedad del suelo, luminosidad y calidad del aire, se presentó en formato estructurado, agrupada dentro del objeto `msg.payload`.

Cada registro incluyó además el nombre del nodo emisor y la marca temporal correspondiente, lo que permitió comprobar que los datos eran enviados de manera ordenada y dentro del intervalo establecido de cinco minutos.

Figura 98

Recepción de Datos en Node Red



```
3/7/2025, 5:26:05 a. m. node: Albahaca
msg.payload: Object
  ▶ { dht_humedad: 73.9, dht_temperatura: 15.9, soil_avg_raw: 1097,
    luminosidad: 96.4, air_quality_raw: 980 ... }

3/7/2025, 5:26:06 a. m. node: fb42daf140d75e0d
msg: string[100]
"Warning: msg properties can no longer override set node
properties. See bit.ly/nr-override-msg-props"

3/7/2025, 5:26:41 a. m. node: Orégano
msg.payload: Object
  ▶ { dht_humedad: 71.4, dht_temperatura: 16.4, soil_avg_raw: 906,
    luminosidad: 0, air_quality_raw: 1043 ... }

3/7/2025, 5:26:42 a. m. node: ef431303bbb662fd
msg: string[100]
"Warning: msg properties can no longer override set node
properties. See bit.ly/nr-override-msg-props"

3/7/2025, 5:31:05 a. m. node: Albahaca
msg.payload: Object
  ▶ { dht_humedad: 74.5, dht_temperatura: 16.1, soil_avg_raw: 1105,
    luminosidad: 96.4, air_quality_raw: 991 ... }

3/7/2025, 5:31:06 a. m. node: fb42daf140d75e0d
msg: string[100]
"Warning: msg properties can no longer override set node
properties. See bit.ly/nr-override-msg-props"

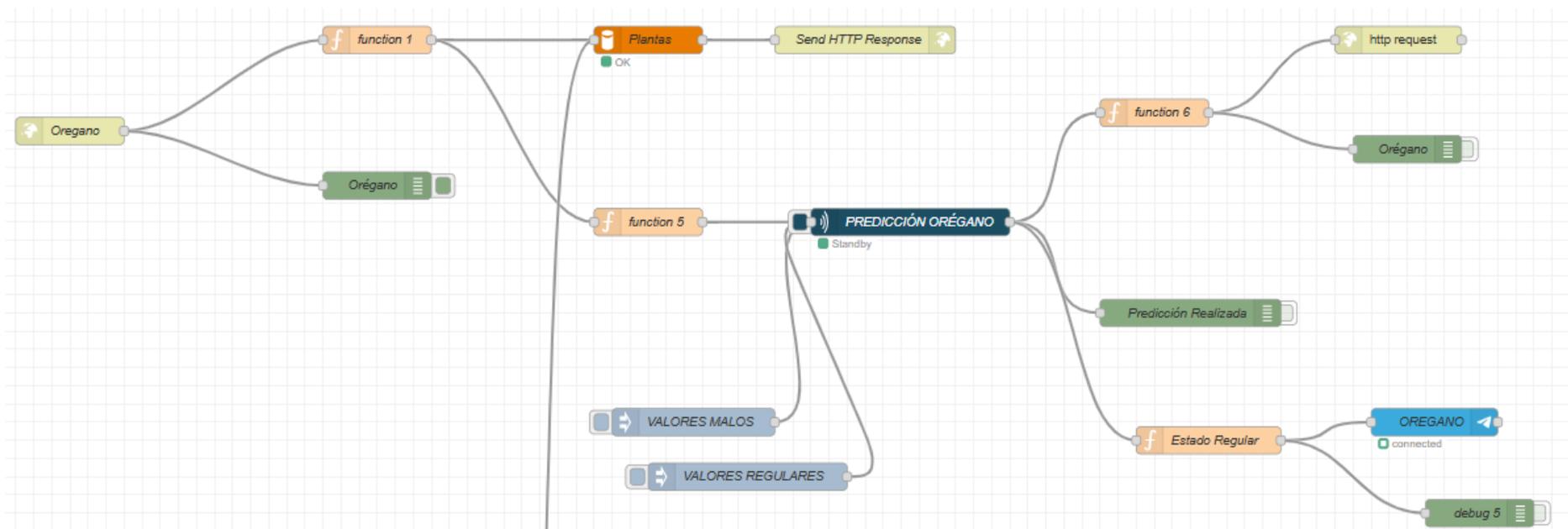
3/7/2025, 5:31:40 a. m. node: Orégano
```

Fuente: Autoría

Una vez configurado el sistema para el cultivo de orégano, se estableció el flujo de procesamiento en Node-RED que permite recibir los datos, procesarlos mediante el modelo de predicción y devolver una clasificación en tiempo real. El flujo contempla módulos de entrada, funciones de preprocesamiento, ejecución del modelo Random Forest y salida de resultados, que incluyen la evaluación del estado del cultivo y su respectiva visualización (Véase en la Figura 99).

Figura 99

Representación del flujo funcional correspondiente al cultivo de orégano.

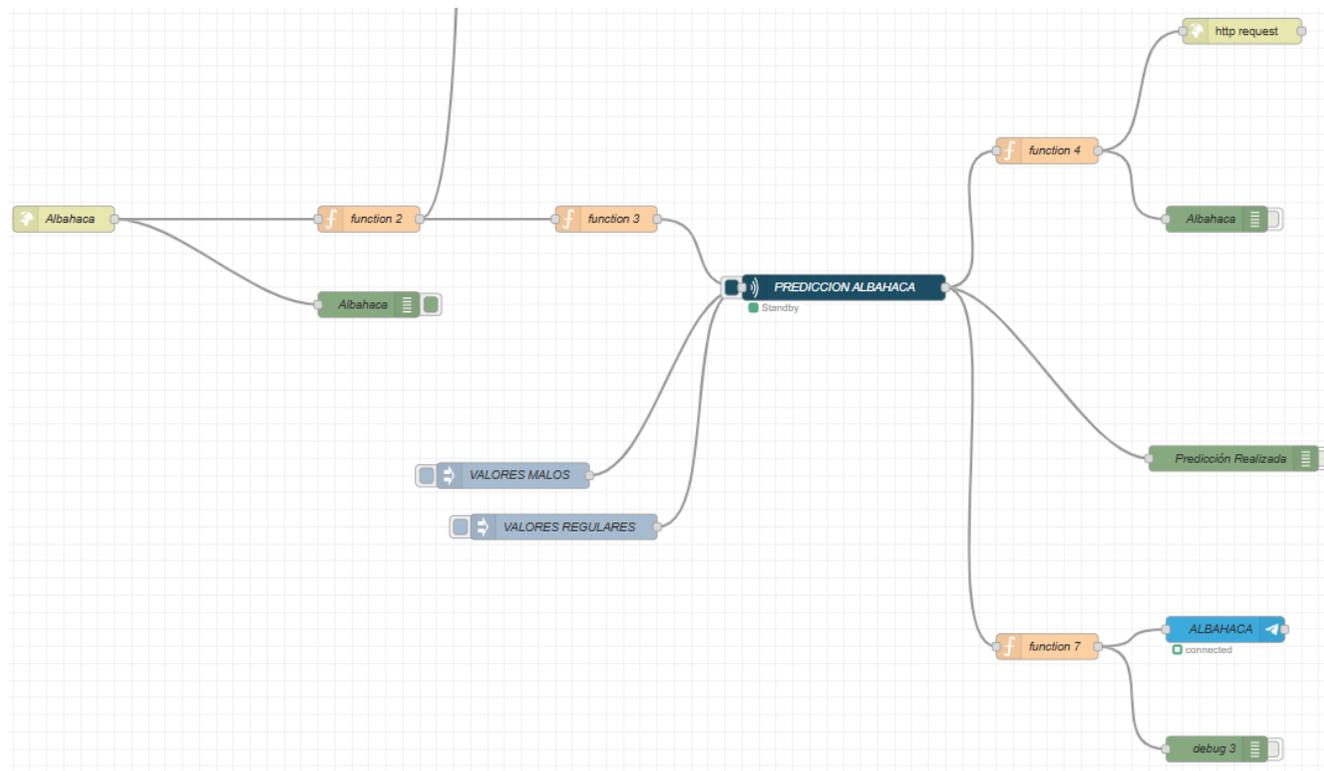


Fuente: Autoría

De forma análoga, el cultivo de albahaca fue integrado a la plataforma Node-RED siguiendo una estructura similar. Se reutilizó la lógica de procesamiento, ajustando únicamente el origen de los datos y las rutas específicas para su identificación. Este enfoque homogéneo aseguró la consistencia del sistema y facilitó la evaluación paralela de ambos cultivos dentro de un entorno controlado.

Figura 100

Representación del flujo funcional correspondiente al cultivo de Albahaca.



Fuente: Autoría

4.3.1.4. Test del Funcionamiento de Aplicativo Móvil

Con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de la aplicación móvil desarrollada, se llevaron a cabo pruebas orientadas a evaluar la interacción entre las plataformas Node-RED, MariaDB y Firebase. El sistema fue diseñado para almacenar los datos adquiridos en una base de datos local (MariaDB) y transmitirlos al entorno en la nube mediante Firebase Realtime, permitiendo su visualización en la aplicación. En la interfaz móvil, se validó la correcta recepción de datos, la clasificación del estado del cultivo, así como el cálculo automatizado de la altura y el diámetro en el caso del orégano. Además, se comprobó la capacidad del sistema para representar los datos mediante histogramas y realizar el control de actuadores en función de las variables ambientales registradas.

Tabla 47

Test de Comunicación entre App Y Nodos

Test de Comunicación entre App Y Nodos			
N°	Descripción de pruebas	Valoración	
		Sí	No
1	Comunicación entre Node-RED, MariaDB y Firebase	X	
2	Envío de datos en tiempo real (Realtime)	X	
3	Recepción y visualización de datos en la App	X	
4	Cálculo del estado, altura y diámetro de la planta	X	
5	Representación gráfica mediante histogramas	X	
6	Control de actuadores desde la aplicación	X	

Fuente: Autoría

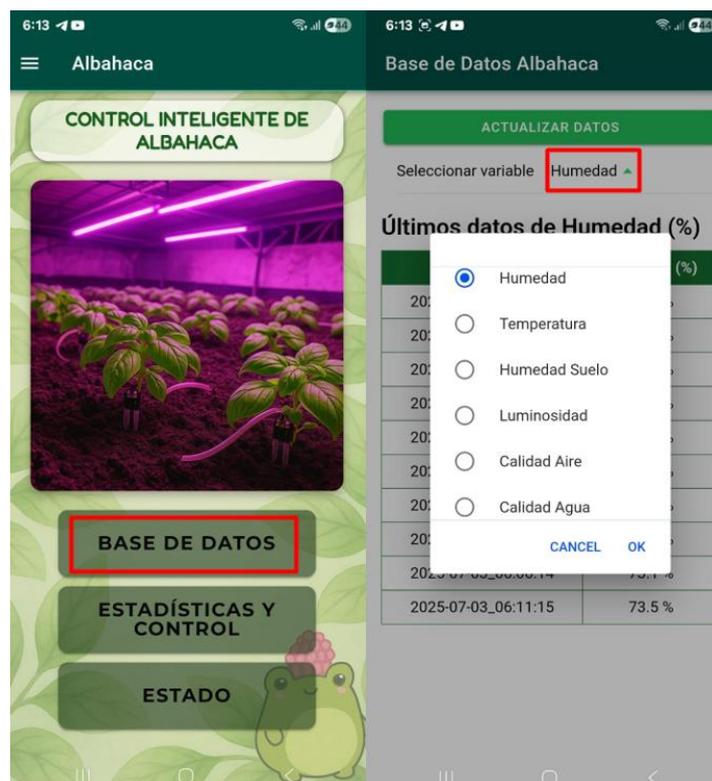
Resultado. - Como parte del bloque final del sistema, se desarrolló un entorno de visualización móvil que permite al usuario monitorear en tiempo real el comportamiento del cultivo de albahaca y orégano. Esta interfaz se conectó a las plataformas de almacenamiento local (MariaDB) y en la nube (Firebase), garantizando el acceso inmediato a los datos adquiridos por los nodos secundarios y procesados por el nodo central.

La primera sección de la aplicación está dedicada a la exploración de la base de datos.

En este apartado, se muestra una tabla dinámica que presenta los últimos diez registros capturados por los sensores para cada uno de los cultivos. Además, se ofrece la posibilidad de filtrar la visualización según la variable de interés, lo cual facilita el análisis individual de parámetros como temperatura, humedad del ambiente y del suelo, calidad del aire, calidad del agua y luminosidad. Esta funcionalidad inicial representa un componente clave para el seguimiento del estado general del sistema y permite validar la integridad de los datos almacenados.

Figura 101

Consulta Filtrada de Variables Ambientales en la App Móvil



Fuente: Autoría

Una vez visualizados los registros recientes de cada cultivo, se procedió a implementar una sección dedicada al control de los actuadores asociados a las variables críticas del entorno. Esta interfaz permite al usuario activar o desactivar dispositivos como el sistema de riego, iluminación, ventilación o recirculación, según el comportamiento observado en las variables ambientales. Para facilitar la toma de decisiones, se incluyó un histograma por cada variable actuable, permitiendo interpretar de forma gráfica su comportamiento histórico reciente.

Figura 102

Opciones para control de variables del cultivo de Albahaca y Orégano



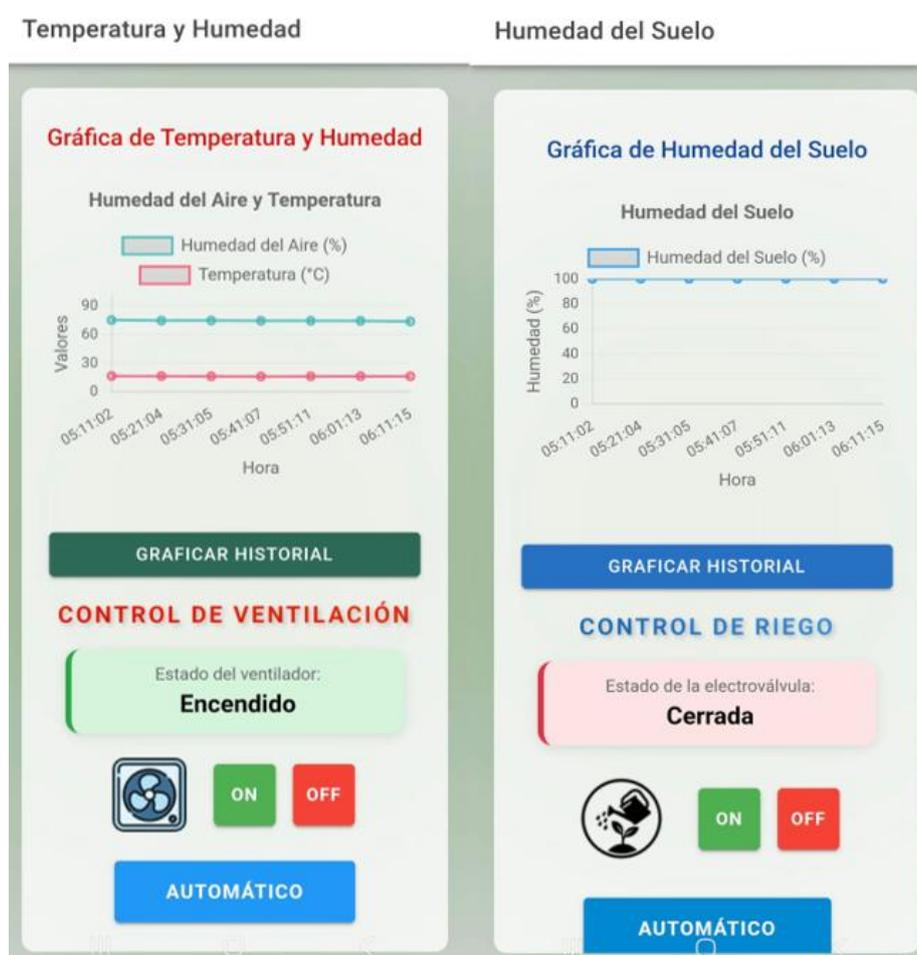
Fuente: Autoría

La aplicación ofrece una interfaz específica para el control de la temperatura y humedad del ambiente. En esta sección se visualiza una gráfica en tiempo real de ambas variables, junto con un panel que permite controlar manual o automáticamente el estado del ventilador.

De forma similar, la opción de humedad del suelo permite observar la evolución de esta variable mediante un histograma y controlar el sistema de riego. El usuario puede activar o desactivar la electroválvula, o dejarla en modo automático según los valores registrados.

Figura 103

Visualización y control de temperatura, humedad ambiental y humedad del suelo desde la aplicación móvil



Fuente: Autoría

El monitoreo de la luminosidad y la calidad del aire se integró en una interfaz que permite interpretar en tiempo real el comportamiento de ambas variables. Para la variable de

luminosidad, el sistema representa la intensidad captada mediante una gráfica temporal y permite intervenir el sistema de iluminación artificial según sea necesario. En cuanto a la calidad del aire, se visualiza el nivel porcentual registrado por los sensores, acompañado del estado del ventilador asociado a esta condición ambiental. Ambas secciones disponen de controles que permiten operar en modo manual o automático, garantizando así la estabilidad de las condiciones internas requeridas por los cultivos.

Figura 104

Visualización y control de temperatura, luminosidad y Calidad del aire desde la aplicación móvil



Fuente: Autoría

La supervisión de la calidad del agua fue incorporada como una funcionalidad esencial dentro del sistema, ya que influye directamente en el estado nutricional de los cultivos. Esta

sección muestra un historial gráfico categorizado por niveles cualitativos (excelente, buena, media y mala), permitiendo evaluar tendencias en el tiempo.

Figura 105

Visualización y control de Calidad de agua, desde la aplicación móvil



Fuente: Autoría

Una vez supervisado el comportamiento de los actuadores y el entorno físico, se accede a la sección de estado del cultivo. Esta interfaz cumple una función crítica: **validar el funcionamiento del algoritmo de predicción para cada cultivo**. A través de las opciones disponibles, el usuario puede verificar si los estados calculados (bueno, regular o malo) se corresponden con las condiciones reales del ambiente. Además, se facilita el acceso al historial de decisiones del sistema, se generan recomendaciones automáticas y se permite exportar informes en formato PDF.

Figura 106

Validación del Estado del Cultivo y Generación de Reportes



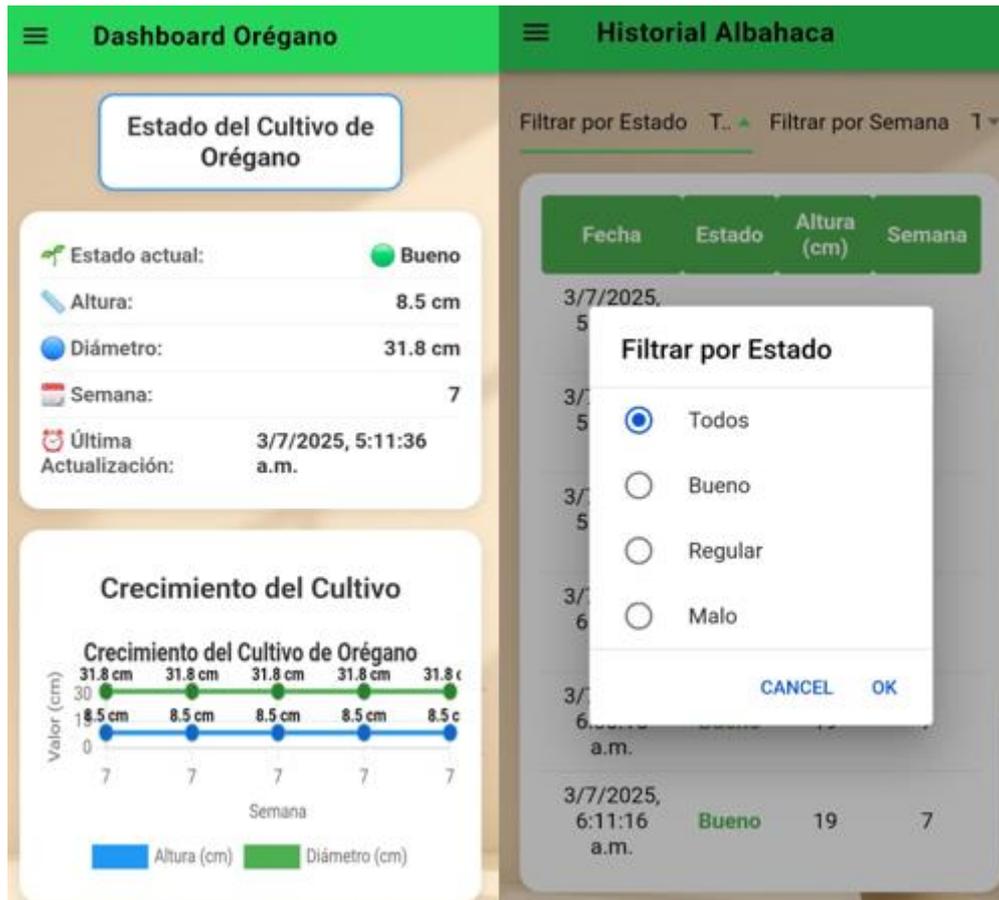
Fuente: Autoría

La validación del estado del cultivo inicia desde el apartado ***Dashboard***, en donde se presentan los resultados del modelo de clasificación aplicado a cada especie. En esta pantalla se refleja el estado actual (bueno, regular o malo), así como la altura, el diámetro y la semana de cultivo correspondiente. Estos valores se calculan en tiempo real a partir del último dato registrado en la base de datos y se complementan con una gráfica que representa el crecimiento estimado del cultivo.

Por otro lado, el apartado ***Historial*** permite revisar los registros pasados ordenados cronológicamente, incluyendo el estado nutricional, la altura alcanzada y la semana correspondiente. Además, se incorpora un sistema de filtrado por estado y por semana, lo cual facilita el análisis retrospectivo del comportamiento del cultivo y el seguimiento de posibles anomalías o tendencias.

Figura 107

Evaluación del estado y seguimiento histórico del cultivo



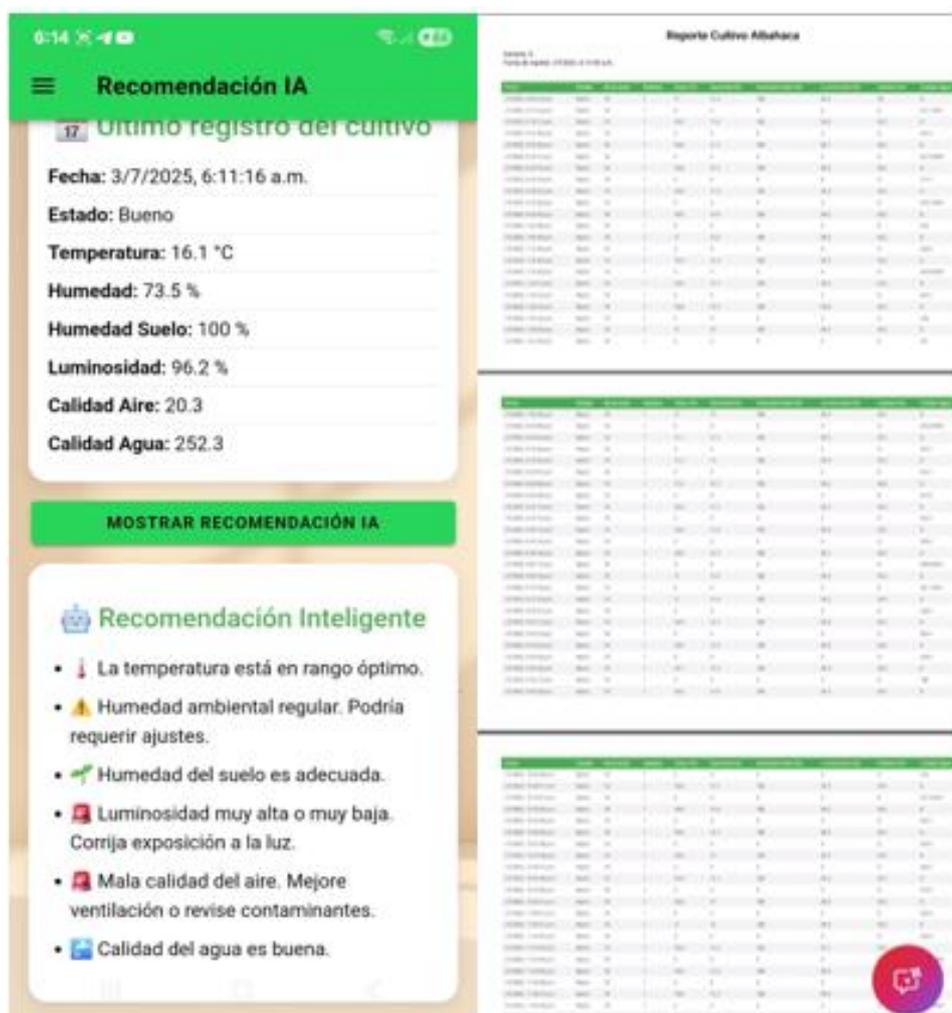
Fuente: Autoría

En esta sección, el sistema muestra recomendaciones automáticas basadas en el último registro del cultivo. Estas sugerencias permiten al usuario tomar decisiones informadas sobre parámetros como temperatura, humedad, luminosidad, calidad del aire y del agua.

Además, se habilita la opción de generar un reporte en formato PDF con todos los datos recolectados. Este documento facilita el seguimiento técnico del cultivo y respalda su evolución en el tiempo.

Figura 108

Recomendaciones inteligentes y generación del informe PDF

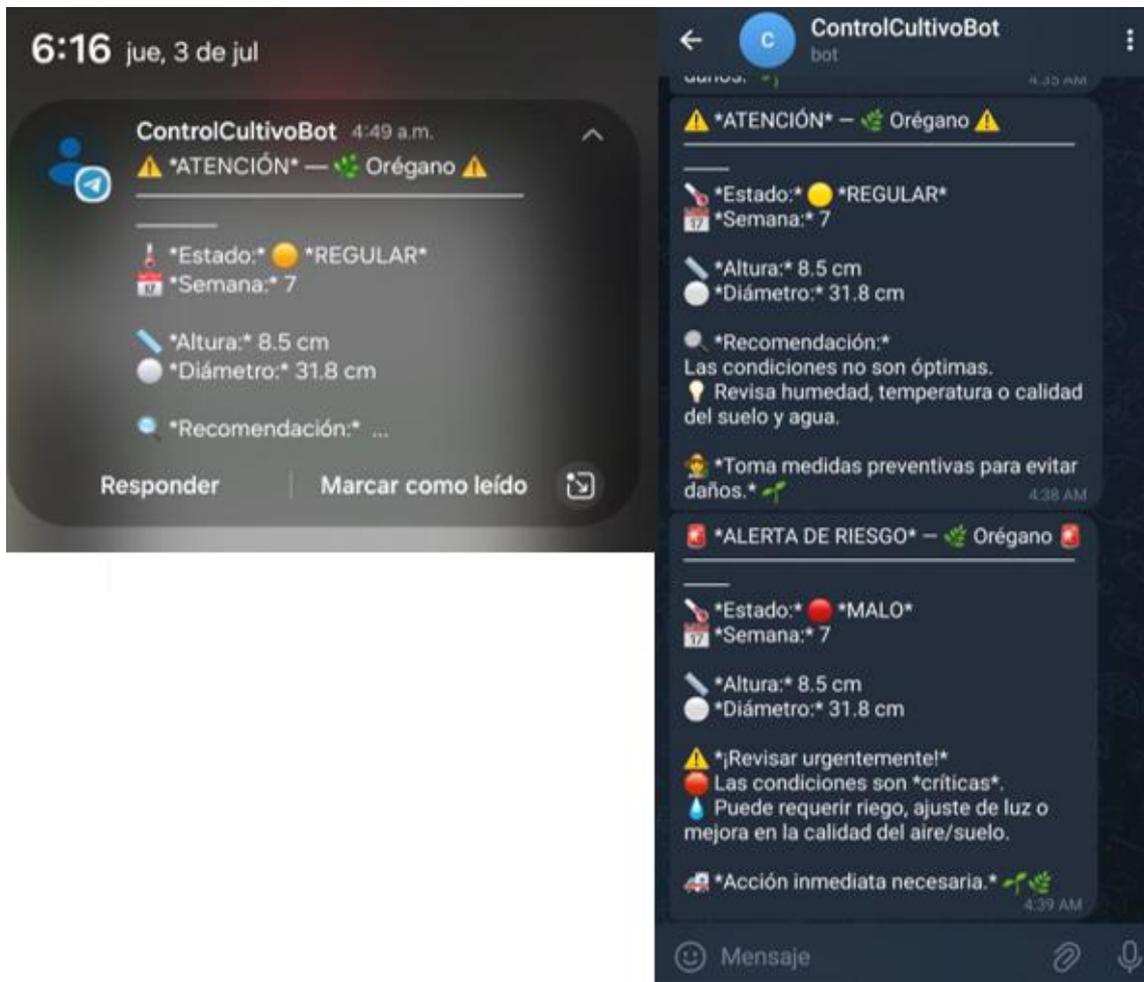


Fuente: Autoría

Finalmente, se integró un sistema de alertas mediante la plataforma de mensajería Telegram, orientado exclusivamente a notificar al usuario cuando el cultivo presenta un estado **regular** o **malo**. Esta funcionalidad permite una intervención oportuna, proporcionando un resumen claro del estado, la semana correspondiente, y las variables críticas como la altura, el diámetro y las condiciones que requieren revisión.

Figura 109

Notificaciones automáticas mediante Telegram para monitoreo del estado del cultivo



Fuente: Autoría

4.3.2. Medición de Parámetros del Estado del Cultivo Tradicional (Albahaca y Orégano)

Para este bloque, se establecieron los rangos de referencia de las variables ambientales que comúnmente afectan el desarrollo fisiológico de la albahaca y el orégano. Dichos valores fueron obtenidos a partir de fuentes agronómicas especializadas que describen el comportamiento óptimo de cada especie en condiciones tradicionales de cultivo en campo

abierto. Las variables consideradas fueron: temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad, calidad del aire y calidad del agua.

Tabla 48

*Rangos ambientales tradicionales para el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*)*

Rangos Óptimos de Condiciones Ambientales – Albahaca		
Propiedad física o química	Unidad	Rango
Humedad ambiental	%	60 – 80
Temperatura	°C	15 – 28
Humedad del suelo	valor DC	800 – 1700
Luminosidad	%	≥ 40 % (mín. 12 h luz)
Calidad del aire (MQ135)	valor DC	0 – 1500
Calidad del agua (TDS)	ppm	300 – 750

Fuente: (Vanzile, 2025)

Aunque el presente sistema se encuentra diseñado para operar en un entorno indoor, estos valores fueron tomados como referencia inicial para la verificación de las condiciones ambientales, permitiendo evaluar el grado de adecuación del sistema automatizado. A partir de esta comparación, se entrenó el modelo de clasificación supervisado que determina el estado del cultivo. Las Tablas 48 y 49 exponen los rangos establecidos para albahaca y orégano respectivamente.

Tabla 49*Rangos ambientales tradicionales para el cultivo de orégano (Origanum vulgare)*

Rangos Óptimos de Condiciones Ambientales – Orégano		
Propiedad física o química	Unidad	Rango
Humedad ambiental	%	50 – 70
Temperatura	°C	18 – 29
Humedad del suelo	valor DC	800 – 1700
Luminosidad	%	≥ 40 % (6–8 h luz)
Calidad del aire (MQ135)	valor DC	0 – 1500
Calidad del agua (TDS)	ppm	300 – 750

Fuente: (Danah, 2024)

4.4. Etapa de Evaluar Resultados

Finalizada la etapa de implementación y validación del sistema, tanto a nivel de hardware como de software, se procedió con la fase de recopilación de datos correspondiente a los cultivos involucrados en el estudio. Esta actividad respondió a uno de los objetivos específicos definidos desde el inicio del proyecto. El análisis se planteó desde una perspectiva comparativa entre ambos cultivos, con el propósito de evaluar aspectos clave como el desarrollo morfológico, el comportamiento fenológico y la eficiencia de crecimiento bajo condiciones controladas. Con base en la información obtenida, fue posible establecer parámetros que permiten identificar la alternativa más adecuada de cultivo frente a las variables ambientales registradas.

4.4.1. Análisis de Cultivo Tradicional

En esta sección se llevó a cabo el análisis del cultivo tradicional tanto de la albahaca como del orégano. El proceso se inició con seis plantas de cada especie, cada una con una

madurez aproximada de 13 semanas tras su periodo de trasplante como plántulas. Durante todo el ciclo se aplicó riego manual diario en horarios establecidos. Para ambos cultivos, se identificaron cinco etapas fenológicas: plántula, vegetativo, prefloración, floración y madurez.

Cada etapa presenta requerimientos hídricos particulares; en la transición de plántula a vegetativo se estableció un riego de 3 a 4 veces por semana, mientras que en el paso de vegetativo a prefloración se redujo a 2 o 3 veces por semana. Finalmente, en la fase de floración el riego se limitó a una vez por semana.

Además, se consideraron factores externos que afectan el desarrollo de las plantas. En el caso de la albahaca, se evidenció la presencia de mosca blanca a partir de la cuarta semana, lo cual obligó a realizar fumigaciones preventivas para evitar la pérdida de las plantas. Por otro lado, el orégano presentó ataques de mildiu, una enfermedad común en condiciones húmedas, que fue controlada mediante el uso de fumigantes orgánicos aplicados de forma localizada.

4.4.1.1. Altura de la Planta (Albahaca)

A partir de las observaciones realizadas, se registró que la altura máxima alcanzada por las plantas de albahaca se situó entre 19 y 20 centímetros durante la semana 7, momento en el cual se estableció la comparativa con el sistema indoor. Esta medición se efectuó desde la base del tallo hasta el extremo de la hoja superior, obteniendo un crecimiento total de 20 cm. El desarrollo del cultivo se realizó bajo riego manual, y se evidenció que, mediante esta técnica tradicional, el avance hacia la etapa de prefloración presenta una mayor demora, afectando directamente la dinámica de crecimiento. A partir de la semana mencionada, se asume un comportamiento de crecimiento lineal.

Figura 110

Altura registrada de la albahaca hasta la semana 7



Fuente: Autoría

4.4.1.2. Altura y diámetro de la Planta (Orégano)

Se documentó que la altura máxima alcanzada por las plantas de orégano en el cultivo tradicional fue de aproximadamente 9 cm, valor registrado en la semana 7 del desarrollo. Este punto se tomó como referencia para la posterior comparación con el cultivo indoor, ya que a partir de dicha semana se espera un crecimiento más uniforme y lineal. El desarrollo del cultivo se llevó a cabo mediante riego manual, siguiendo una rutina establecida según la etapa fenológica.

Figura 111

Altura registrada de la albahaca hasta la semana 7



Fuente: Autoría

Para el análisis del desarrollo en diámetro del cultivo tradicional de orégano, se utilizó una cinta métrica como instrumento de medición, tal como se ilustra en la Figura 112. En la semana 7, se registró un diámetro de 17 cm. Sin embargo, según los parámetros establecidos para un desarrollo óptimo en esta etapa, el valor esperado debería aproximarse a los 32 cm. Esta diferencia significativa evidencia una desaceleración en el crecimiento lateral del cultivo, lo cual puede estar relacionado con factores como disponibilidad de luz, nutrientes o condiciones del suelo. Esta medición permite concluir que el rendimiento estructural del

orégano en condiciones convencionales no alcanza los estándares ideales, afectando posiblemente su frondosidad y producción final.

Figura 112

Medición del diámetro del cultivo tradicional de orégano



Fuente: Autoría

4.4.1.3. Coloración de Hoja (Albahaca y Orégano)

Este apartado aborda el análisis de coloración foliar en los cultivos tradicionales de **albahaca** y **orégano**, con el objetivo de identificar la presencia de pigmentos característicos asociados al estado fisiológico de la planta. La evaluación cromática permite asociar el color observado en las hojas con la concentración de pigmentos como clorofilas, carotenos y xantofilas, lo que facilita la interpretación de su estado de salud. La Tabla correspondiente permite contrastar pigmento y tonalidad, estableciendo una herramienta útil para el

seguimiento del desarrollo vegetal y la detección de posibles deficiencias nutricionales o estrés ambiental.

Tabla 50

Pigmentación de hojas de plantas vegetales

Pigmento	Color
Caroteno	Amarillo–Naranja
Feofitina a	Gris
Feofitina b	Gris (puede no ser visible)
Clorofila a	Azul-Verde
Clorofila b	Verde
Xantofilas	Amarillo

Fuente: (Shangomir, 2013)

Para el análisis de pigmentación foliar, se realizó una comparación con la tabla correspondiente de pigmentos, permitiendo identificar las características visuales presentes en los cultivos tradicionales de albahaca y orégano. En el caso de la albahaca, se observaron tonalidades predominantemente verdes claro, atribuibles a la presencia de clorofilas, aunque en ciertos ejemplares se detectó una coloración amarillenta-naranja relacionada con deficiencias hídricas o exposición prolongada a luz intensa. De forma similar, el orégano mostró cambios de color asociados al deterioro de pigmentos, manifestándose en tonos grisáceos o marrones en algunas hojas. Estos indicios permiten concluir que las condiciones tradicionales, sujetas a variaciones climáticas y factores no controlados como plagas o estrés hídrico, influyen directamente en la pigmentación natural de las hojas

4.4.1.4. *Frondosidad (Albahaca)*

Para el desarrollo del análisis de frondosidad en el cultivo convencional de albahaca, se realizó un conteo detallado del número total de hojas presentes en cada planta. Este procedimiento tuvo como propósito evaluar la densidad foliar como indicador del estado nutricional del cultivo. En la Figura 113 se presenta una muestra representativa, donde se evidencia un total de 15 hojas completamente desarrolladas. Este resultado sugiere que, bajo condiciones tradicionales de riego manual y exposición ambiental no controlada, las plantas de albahaca lograron una ramificación moderada. Sin embargo, se identificaron signos de desgaste y estrés en algunas hojas.

Figura 113

Frondosidad del cultivo Tradicional de Albahaca



Fuente: Autoría

4.4.1.5. Frondosidad (Orégano)

Con el objetivo de evaluar la frondosidad en el cultivo tradicional de orégano, se realizó un conteo estimado de hojas por planta en una muestra representativa. En la Figura 114 se puede observar un desarrollo con menor densidad foliar, evidenciando un promedio de aproximadamente diez hojas por rama principal. Esta cantidad, aunque aceptable, refleja un patrón de crecimiento menos compacto en comparación con la albahaca, lo cual podría estar influenciado por las condiciones ambientales no controladas y el riego manual aplicado durante todo el proceso. Además, la presencia de ramas con escasa cantidad de hojas sugiere posibles afectaciones por estrés hídrico o plagas, lo que limita la capacidad fotosintética.

Figura 114

Frondosidad del cultivo Tradicional de Orégano



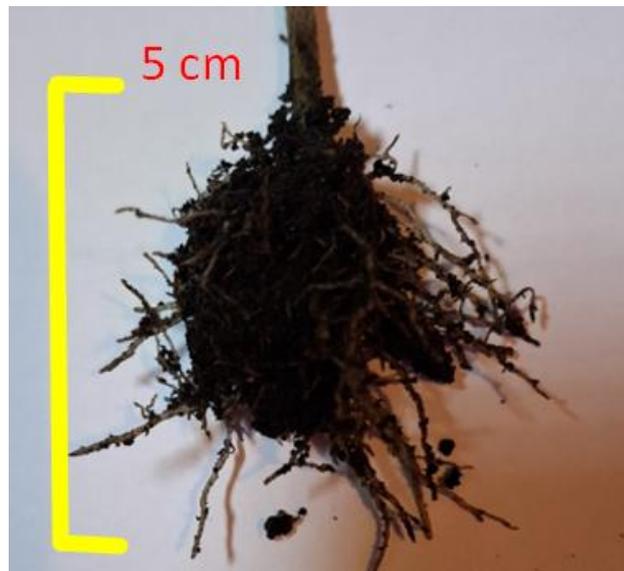
Fuente: Autoría

4.4.1.6. *Tamaño de Raíz (Albahaca)*

Durante el análisis del sistema radicular en el cultivo tradicional, se efectuó una evaluación específica únicamente sobre la albahaca, ya que, en el caso del orégano, su estructura radicular extensa y profunda imposibilitó una extracción controlada sin afectar la planta. En la Figura 115 se observa que la albahaca presentó una raíz de tamaño reducido (5cm), con un desarrollo compacto y limitado. Esta morfología es característica de condiciones donde el suelo restringe el crecimiento debido a factores como la compactación del sustrato y una oxigenación deficiente. La raíz, al encontrarse densamente adherida al medio, evidencia un patrón que limita la expansión lateral y vertical, afectando directamente la absorción eficiente de agua y nutrientes.

Figura 115

Evaluación del Desarrollo Radicular de la Albahaca en Cultivo Tradicional



Fuente: Autoría

4.4.1.7. Registro Manual de Variables Ambientales en el Cultivo de Albahaca

Con el fin de corroborar la información presentada anteriormente, se incluye la siguiente tabla en la cual se evidencia la toma y el registro manual de las variables ambientales observadas durante el cultivo de **albahaca**. Esta recolección se llevó a cabo en condiciones controladas, permitiendo contrastar los datos obtenidos manualmente con los capturados por el sistema automatizado, el valor de **X** representa a la pérdida de la planta.

Tabla 51

Registro Manual de Variables Ambientales en el Cultivo de Albahaca

Semana	Planta ID	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Número de hojas	Estado fenológico (Plántula / Vegetativo / Prefloración / Floración / Madura)	Observaciones
SEMANA 1	AL-T-1	7	3,5	6	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-2	7	3,5	5	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-3	5	2,5	5	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-4	5	2,5	6	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-5	7	3,5	4	Plántula	Hoja verde, fuerte
SEMANA 2	AL-T-1	9	4,5	7	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-2	9	4,5	6	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-3	7	3,5	6	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-4	7	3,5	7	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-5	9	4,5	5	Plántula	Hoja verde, fuerte
SEMANA 3	AL-T-1	11	5,5	8	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-2	11	5,5	7	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-3	9	4,5	7	Plántula	Hoja verde, fuerte
	AL-T-4	9	4,5	8	Plántula	Hoja verde, fuerte

	AL-T-5	11	5,5	6	Plántula	Hoja verde, fuerte
SEMANA 4	AL-T-1	13	6,5	9	Plántula	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-2	13	6,5	8	Plántula	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-3	11	5,5	8	Plántula	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-4	11	5,5	9	Plántula	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-5	13	6,5	7	Plántula	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
SEMANA 5	AL-T-1	15	7,5	10	Vegetativo	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-2	15	7,5	9	Vegetativo	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-3	13	6,5	9	Vegetativo	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-4	13	6,5	10	Vegetativo	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
	AL-T-5	15	7,5	8	Vegetativo	Hojas con pigmentación amarillenta, afectación por insectos
SEMANA 6	AL-T-1	17	8,5	11	Vegetativo	Decaimiento de planta, por exceso de agua, hojas débiles
	AL-T-2	17	8,5	10	Vegetativo	Decaimiento de planta, por exceso de agua, hojas débiles
	AL-T-3	15	7,5	10	Vegetativo	X
	AL-T-4	15	7,5	11	Vegetativo	X
	AL-T-5	17	8,5	9	Vegetativo	Decaimiento de planta, por exceso de agua, hojas débiles
SEMANA 7	AL-T-1	19	9,5	12	Vegetativo	Aparición de mosca blanca, pérdida de hojas, retraso de crecimiento
	AL-T-2	19	9,5	11	Vegetativo	Aparición de mosca blanca, pérdida de hojas, retraso de crecimiento
	AL-T-3	17	8,5	11	Vegetativo	X
	AL-T-4	17	8,5	12	Vegetativo	X
	AL-T-5	19	9,5	10	Vegetativo	Aparición de mosca blanca, pérdida de hojas, retraso de crecimiento
SEMANA 8	AL-T-1	21	10,5	13	Vegetativo	Fumigación Fungicida orgánico
	AL-T-2	21	10,5	12	Vegetativo	Fumigación Fungicida orgánico
	AL-T-3	19	9,5	12	Vegetativo	X
	AL-T-4	19	9,5	13	Vegetativo	X
	AL-T-5	21	10,5	11	Vegetativo	Fumigación fungicida orgánico
SEMANA 9	AL-T-1	23	11,5	14	Pre-Floración	Hojas verdes, crecimiento sostenido
	AL-T-2	23	11,5	13	Pre-Floración	Desarrollo normal, ligera mejora
	AL-T-3	21	10,5	13	Pre-Floración	X

	AL-T-4	21	10,5	14	Pre-Floración	X
	AL-T-5	23	11,5	12	Pre-Floración	Mejora visual, sin plagas visibles
SEMANA 10	AL-T-1	25	12,5	15	Pre-Floración	Apariencia saludable, hojas grandes
	AL-T-2	25	12,5	14	Pre-Floración	Apariencia saludable, hojas grandes
	AL-T-3	23	11,5	14	Pre-Floración	X
	AL-T-4	23	11,5	15	Pre-Floración	X
	AL-T-5	25	12,5	13	Pre-Floración	Apariencia saludable, hojas grandes
SEMANA 11	AL-T-1	27	13,5	16	Floración	Inicio de floración, planta vigorosa
	AL-T-2	27	13,5	15	Floración	Inicio de floración, planta vigorosa
	AL-T-3	25	12,5	15	Floración	X
	AL-T-4	25	12,5	16	Floración	X
	AL-T-5	27	13,5	14	Floración	Buen desarrollo de flores, follaje sano
SEMANA 12	AL-T-1	29	14,5	17	Floración	Estado óptimo, floración equilibrada
	AL-T-2	29	14,5	16	Floración	Estado óptimo, floración equilibrada
	AL-T-3	27	13,5	16	Floración	X
	AL-T-4	27	13,5	17	Floración	X
	AL-T-5	29	14,5	15	Floración	Planta saludable, producción visible
SEMANA 13	AL-T-1	31	15,5	18	Madura	Planta madura, sin signos de estrés
	AL-T-2	31	15,5	17	Madura	Planta madura, sin signos de estrés
	AL-T-3	29	14,5	17	Madura	X
	AL-T-4	29	14,5	18	Madura	X
	AL-T-5	31	15,5	16	Madura	Listo para recolección, estado óptimo

Fuente: Autoría

4.4.1.8. Registro Manual de Variables Ambientales en el Cultivo de Orégano

Por otro lado, en el caso del cultivo de **orégano**, se realizó igualmente un registro manual de las variables ambientales con el fin de corroborar la información presentada previamente. La siguiente tabla muestra los valores obtenidos bajo condiciones controladas, permitiendo establecer una comparación directa con los datos recolectados por el sistema automatizado.

Tabla 52

Registro Manual de Variables Ambientales en el Cultivo de Orégano

Semana	Planta ID	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Número de hojas	Estado fenológico (Plántula / Vegetativo / Prefloración / Floración / Madura)	Observaciones
SEMANA 1	OR-1	3	4	4	Plántula	Estado sano
	OR-2	3	4	4	Plántula	Estado sano
	OR-3	3	4	4	Plántula	Estado sano
	OR-4	3	4	4	Plántula	Estado sano
	OR-5	3	4	4	Plántula	Estado sano
SEMANA 2	OR-1	4	6	6	Plántula	Estado sano
	OR-2	4	6	6	Plántula	Estado sano
	OR-3	4	6	6	Plántula	Estado sano
	OR-4	4	6	6	Plántula	Estado sano
	OR-5	4	6	6	Plántula	Inicio de oídio, se programa fungicida
SEMANA 3	OR-1	5	9	9	Plántula	Estado sano
	OR-2	5	9	9	Plántula	Estado sano
	OR-3	5	9	9	Plántula	Estado sano
	OR-4	5	9	9	Plántula	Estado sano

	OR-5	5	8	8	Plántula	Tratamiento de oídio con éxito
SEMANA 4	OR-1	6	13	15	Vegetativo inicial	Estado sano
	OR-2	6	13	15	Vegetativo inicial	Estado sano
	OR-3	6	13	15	Vegetativo inicial	Estado sano
	OR-4	6	12	14	Vegetativo inicial	Presencia de trips, aplica insecticida
	OR-5	6	13	15	Vegetativo inicial	Estado sano
SEMANA 5	OR-1	7	18	22	Vegetativo	Estado sano
	OR-2	7	18	22	Vegetativo	Estado sano
	OR-3	7	18	22	Vegetativo	Estado sano
	OR-4	7	17	20	X	X
	OR-5	7	18	22	Vegetativo	Estado sano
SEMANA 6	OR-1	8	25	30	Vegetativo	Estado sano
	OR-2	8	25	30	Vegetativo	Estado sano
	OR-3	8	25	30	Vegetativo	Estado sano
	OR-4	8	25	30	X	X
	OR-5	8	24	29	Vegetativo	Presencia de ácaros, se fumiga
SEMANA 7	OR-1	8,5	32	38	Vegetativo	Estado sano
	OR-2	8,5	32	38	Vegetativo	Estado sano
	OR-3	8,5	30	36	Vegetativo	Marchitez por estrés hídrico, se corrige
	OR-4	8,5	32	38	X	X
	OR-5	8,5	32	38	Vegetativo	Estado sano
SEMANA 8	OR-1	9	40	46	Vegetativo avanzado	Estado sano
	OR-2	9	40	46	Vegetativo avanzado	Estado sano
	OR-3	9	38	43	Vegetativo avanzado	Recuperación de estrés hídrico
	OR-4	9	40	46	X	X
	OR-5	9	40	46	Vegetativo avanzado	Estado sano
SEMANA 9	OR-1	9,2	47	52	Prefloración	Estado sano
	OR-2	9,2	45	50	Prefloración	Manchas foliares, poda y fungicida
	OR-3	9,2	47	52	Prefloración	Estado sano

	OR-4	9,2	47	52	X	X
	OR-5	9,2	47	52	Prefloración	Estado sano
SEMANA 10	OR-1	9,5	53	58	Prefloración	Estado sano
	OR-2	9,5	50	55	Prefloración	Control de manchas foliares exitoso
	OR-3	9,5	53	58	Prefloración	Estado sano
	OR-4	9,5	53	58	X	X
	OR-5	9,5	53	58	Prefloración	Estado sano
SEMANA 11	OR-1	10	58	63	Floración	Estado sano
	OR-2	10	58	63	Floración	Estado sano
	OR-3	10	58	63	Floración	Estado sano
	OR-4	10	58	63	X	X
	OR-5	10	55	60	Floración	Mildiu leve, se aplica biocontrol
SEMANA 12	OR-1	10	62	66	Floración	Estado sano
	OR-2	10	62	66	Floración	Estado sano
	OR-3	10	62	66	Floración	Estado sano
	OR-4	10	62	66	X	X
	OR-5	10	60	63	Floración	Recuperación de mildiu
SEMANA 13	OR-1	10	65	68	Madura / Listo para cosecha	Recuperación de mildiu
	OR-2	10	65	68	Madura / Listo para cosecha	Recuperación de mildiu
	OR-3	10	65	68	Madura / Listo para cosecha	Recuperación de mildiu
	OR-4	10	65	68	X	X
	OR-5	10	62	65	Madura / Listo para cosecha	Recuperación de mildiu

Fuente: Autoría

4.4.2. Análisis del Cultivo Supervisado

Los principales intereses de evaluación al cultivo indoor tanto de albahaca como de orégano con supervisión es la eficiencia, rendimiento, estado, calidad y tiempo con respecto a la agricultura convencional, para ello se analizan parámetros generales como la altura, coloración de hojas, frondosidad, tamaño de raíz y diámetro en el caso del orégano, respecto al tiempo.

4.4.2.1. Altura de las Plantas (Albahaca)

En esta sección se describe el crecimiento promedio de seis plantas de albahaca, tal como se mencionó anteriormente. Luego de su trasplante en etapa de plántula, las plantas atravesaron un período de adaptación de cuatro semanas a su nuevo ambiente de cultivo. El tamaño inicial registrado osciló entre 6 y 7 cm, medido desde la base del tallo hasta la punta de la hoja más alta, considerando un total de cuatro hojas por plántula. Esta primera medición se realizó el lunes 19 de mayo.

A partir de dicha fecha, se llevaron a cabo mediciones semanales cada domingo durante un período de siete semanas. En la tabla 53 que se presenta a continuación se documentan los datos correspondientes al crecimiento en centímetros por semana. Cabe destacar que la variable "semana" representa el tiempo transcurrido desde el inicio del seguimiento, mientras que la variable "crecimiento" corresponde a la altura registrada.

Tabla 53*Crecimiento semanal promedio de plantas de albahaca en cultivo indoor*

A L B A H A C A	SEMANAS							
	N°	1	2	3	4	5	6	7
	AL-I-1	7cm	9.5cm	13.5cm	15.5 cm	19.3cm	21cm	24cm
	AL-I-2	6cm	8.5cm	11.5cm	14cm	16.5cm	19.1cm	22cm
	AL-I-3	7cm	10cm	13cm	17cm	19cm	22cm	25cm
	AL-I-4	6.3cm	8cm	11.7cm	14 cm	15.2cm	17.6cm	20cm
	AL-I-5	5cm	7cm	10cm	13.2cm	16.8cm	19.2cm	23.2cm
PROMEDIO		6.26cm	8.6cm	11.94cm	14.74cm	17.36cm	19.78cm	22.84cm

Fuente: Autoría

El tamaño alcanzado por la albahaca en el sistema de cultivo indoor supervisado se muestra en la figura a continuación. En la semana 7, que corresponde a la fecha límite establecida para la toma de datos con fines comparativos, la planta registró una altura de 25 cm. Este valor permitió evaluar el desempeño del sistema de cultivo supervisado en condiciones controladas.

A partir de dicho tamaño, las hojas de la albahaca ya presentaban un desarrollo morfológico adecuado para el consumo, mostrando características óptimas en cuanto a tamaño, textura y coloración. Durante esta etapa, se observó un tallo grueso y de color verde saludable, sin presencia de plagas ni necesidad de fumigación, lo cual evidenció un desarrollo vegetativo satisfactorio bajo supervisión.

Figura 116

Desarrollo final de la planta de albahaca en la semana 7 del cultivo indoor supervisado



Fuente: Autoría

4.4.2.2. Altura y diámetro de las Plantas (Orégano)

En esta sección se describe el crecimiento promedio de seis plantas de orégano, tal como se mencionó anteriormente. Luego de su trasplante en etapa de plántula, las plantas atravesaron un período de adaptación de cuatro semanas a su nuevo ambiente de cultivo. El tamaño inicial registrado fue de 3 cm de altura y 4 cm de diámetro basal del tallo, medidos desde la base hasta la punta de la hoja más alta y en la zona más ancha del tallo, respectivamente. Esta primera medición se realizó el lunes 19 de mayo.

A partir de dicha fecha, se llevaron a cabo mediciones semanales cada domingo durante un período de siete semanas. En las tablas 53 y 54 que se presentan a continuación se documentan los datos correspondientes tanto al crecimiento en altura como al incremento del diámetro basal por semana. Cabe destacar que la variable "semana" representa el tiempo

transcurrido desde el inicio del seguimiento, mientras que las variables "altura" y "diámetro" corresponden a las dimensiones registradas en cada punto de control.

Tabla 54

Crecimiento semanal promedio de plantas de orégano en cultivo indoor

O R É G A N O	SEMANAS (Altura)							
	N°	1	2	3	4	5	6	7
	OR-I-1	3cm	5.5cm	8 cm	10.3 cm	13.3cm	16.5cm	21cm
	OR-I-2	3.2cm	5cm	7.5cm	11cm	12.5cm	14.5cm	19cm
	OR-I-3	4cm	5cm	8.3cm	10.2cm	13.cm	16.4cm	20cm
	OR-I-4	3cm	4.3cm	7.2cm	11.3cm	15.2cm	17.6cm	21cm
	OR-I-5	3cm	4.7cm	5.9cm	9.2cm	12cm	15.3cm	18.5cm
PROMEDIO		3.24cm	4.9cm	7.38cm	10.4cm	13.2cm	16.06cm	19.9cm

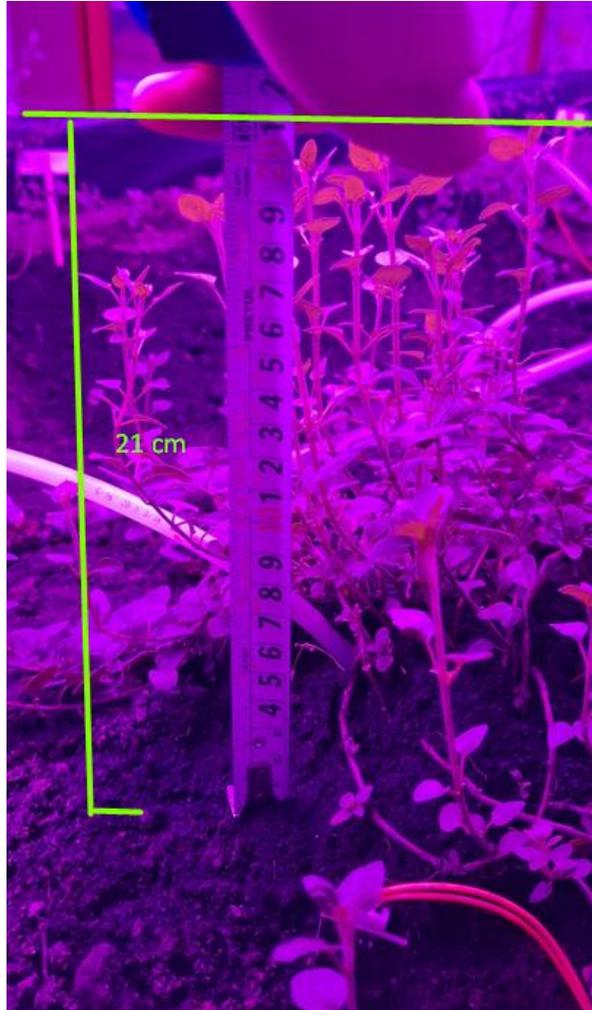
Fuente: Autoría

En el cultivo supervisado de orégano, al cierre del periodo de observación en la semana 7, las plantas alcanzaron una altura de 21 cm, mostrando un desarrollo compacto y vigoroso. Se observó una ramificación abundante, considerablemente superior a la de un cultivo tradicional, lo cual es característico del orégano cultivado en condiciones óptimas de humedad, luz y temperatura.

El estado general de las plantas fue saludable, sin indicios de plagas ni enfermedades durante todo el ciclo observado. Estas condiciones, controladas por el sistema indoor supervisado, permitiendo el crecimiento uniforme de la planta, permitiendo obtener un buen producto final gracias al sistema supervisado, a continuación, lo validamos en la Figura 117, la cual representa a la planta OR-I-4.

Figura 117

Crecimiento del orégano en la semana 7 del cultivo indoor supervisado



Fuente: Autoría

Por otro lado, se realizó un seguimiento del diámetro general de la planta de orégano, entendido como la distancia máxima horizontal entre los extremos de su ramificación. Esta variable fue registrada semana a semana con el fin de analizar la expansión lateral del cultivo bajo condiciones indoor supervisadas. Las mediciones permiten observar el comportamiento del crecimiento en extensión, el cual es característico del orégano y relevante para evaluar su desarrollo. La tabla 55 muestra la variación del diámetro en cada semana durante el periodo de evaluación.

Tabla 55*Evolución del diámetro promedio de plantas de orégano en cultivo indoor supervisado*

O R É G A N O	SEMANAS (diámetro)							
	Nº	1	2	3	4	5	6	7
	OR-I-1	6cm	9.2cm	13.2cm	18.5 cm	25cm	29.3cm	35cm
	OR-I-2	6.5cm	8.5 cm	16.7cm	17.6cm	22.2cm	30.1cm	38cm
	OR-I-3	6.2cm	10.3cm	14.5cm	18.5cm	25.8cm	32.5cm	36cm
	OR-I-4	6cm	8.4cm	16cm	20cm	26.5	36cm	43cm
	OR-I-5	5cm	7cm	10.8cm	19cm	24.4cm	31.12cm	36.7cm
PROMEDIO		5.94cm	8.68cm	14.24cm	18.72cm	24.78cm	31.8cm	37.74cm

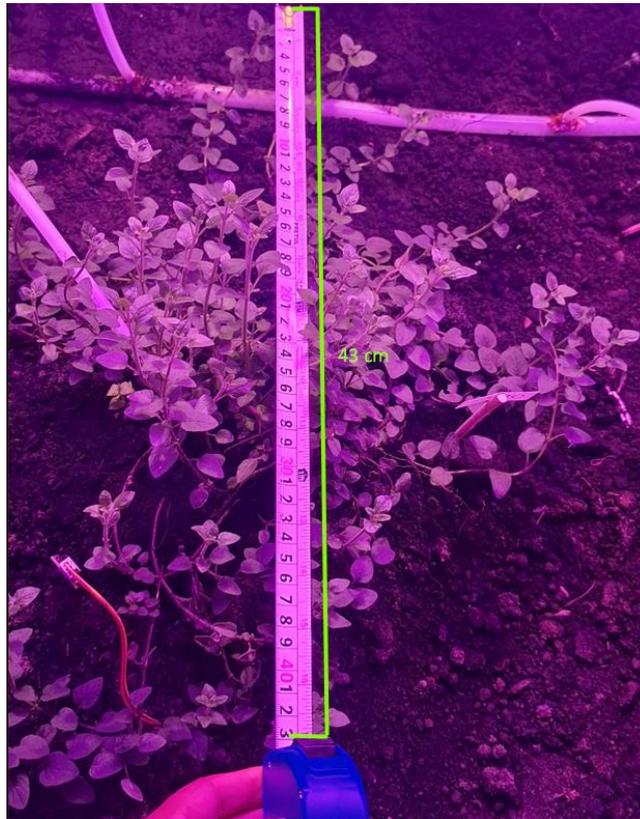
Fuente: Autoría

Finalizado el proceso de medición de las plantas de orégano, se procedió al análisis del diámetro general de expansión, una variable particularmente relevante en este tipo de cultivo debido a su morfología rastrera. A diferencia del cultivo de albahaca, el orégano presenta un crecimiento lateral notable. En la semana 7, las plantas alcanzaron un diámetro promedio de 43 cm, evidenciando una expansión significativa bajo condiciones controladas del sistema indoor supervisado.

Al comparar estos resultados con un cultivo tradicional de orégano, sembrado en las mismas condiciones ambientales, pero sin supervisión inteligente, se observó un comportamiento marcadamente diferente. Si bien ambos sistemas mostraron un crecimiento similar en las primeras tres semanas, a partir de la semana 4, el cultivo tradicional comenzó a presentar signos de deterioro: las hojas se secaron progresivamente, las ramificaciones disminuyeron y la estructura general de las plantas se debilitó.

Figura 118

Expansión lateral del orégano en la semana 7 del cultivo indoor supervisado



Fuente: Autoría

4.4.2.3. Coloración de Hojas (Albahaca)

En esta sección se presenta el análisis de la coloración foliar del cultivo de albahaca, el cual se realiza en base a una comparación con la Tabla 49, previamente expuesta, que describe las referencias estándar de coloración fotosintética en plantas vegetales. Esta comparación permite deducir que las plantas de albahaca evaluadas mostraron hojas de color verde brillante, con tamaño robusto y textura firme, sin presencia de tonalidades amarillentas o cafés, ni signos de debilitamiento estructural.

Dichas características reflejan un estado vegetativo óptimo, lo que indica que las hojas son aptas para el consumo humano. Es importante destacar que, durante el periodo de seguimiento, las plantas no fueron sometidas a tratamientos químicos ni procesos de fumigación. Esta condición contrasta notablemente con las plantas cultivadas bajo condiciones

tradicionales, las cuales, hacia la cuarta semana, presentaron síntomas visibles de infestación por mosca blanca (*Bemisia tabaci*), una plaga que afecta principalmente las hojas al absorber su savia, debilitándolas y provocando una coloración amarillenta.

Estos resultados refuerzan el valor nutricional del cultivo de albahaca (ver Tabla 2), la cual detalla el aporte de nutrientes por cada 100 gramos de producto fresco. Además de sus propiedades culinarias ampliamente reconocidas en la alta gastronomía, la albahaca es una planta medicinal empleada en el tratamiento de trastornos como la inapetencia y la dispepsia. No obstante, su producción requiere un control riguroso, ya que es una especie altamente sensible a cambios bruscos de temperatura, humedad y luminosidad, lo que justifica la necesidad de sistemas de cultivo supervisado.

Figura 119

Estado morfológico y coloración foliar de la albahaca en cultivo indoor supervisado



Fuente: Autoría

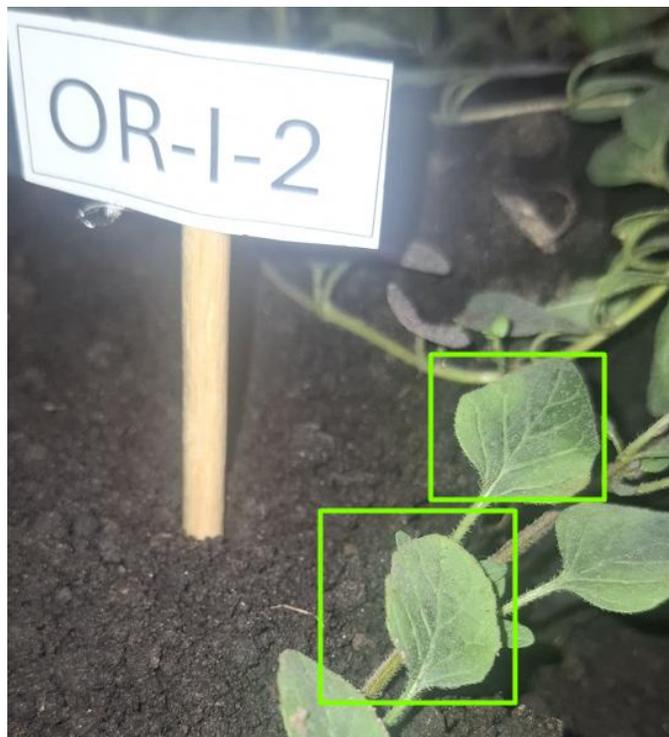
4.4.2.4. Coloración de Hojas (Orégano)

Durante el seguimiento, las plantas de orégano mostraron hojas de tonalidad verde intensa y homogénea, con una textura firme y sin señales de estrés fisiológico. No se evidenciaron cambios cromáticos anormales, tales como manchas amarillentas o zonas necróticas, lo cual indica una adecuada actividad fotosintética y un entorno ambiental favorable. Estas condiciones reflejan un estado sanitario óptimo, libre de plagas y enfermedades, sin requerir aplicación de productos químicos.

Los resultados obtenidos validan el uso del cultivo indoor supervisado para preservar la calidad morfológica y funcional del orégano, lo que a su vez favorece su valor gastronómico y medicinal. El orégano es ampliamente utilizado por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y digestivas, por lo cual mantener un control riguroso de las variables ambientales resulta esencial para asegurar su aprovechamiento en condiciones óptimas.

Figura 120

Estado foliar del orégano en cultivo indoor supervisado durante la semana 7



Fuente: Autoría

4.4.2.5. *Frondosidad de la planta (Albahaca)*

En esta sección se presenta el análisis de la frondosidad de la planta de albahaca correspondiente a la semana 7 del cultivo indoor supervisado. En esta etapa, las plantas registraron un follaje abundante, con un total de 21 hojas desarrolladas por ejemplar, lo que evidencia un crecimiento vegetativo favorable.

El cultivo supervisado mostró una mayor densidad foliar en comparación con el cultivo tradicional, lo cual se explica por el hecho de que las plantas se encontraban en su estado fenológico vegetativo, caracterizado por el desarrollo activo de hojas. Además, se observó que el tamaño promedio de las hojas osciló entre 5 y 7 cm, cumpliendo así con uno de los parámetros establecidos en el proyecto: mejorar la calidad y tamaño de las hojas mediante un sistema de control ambiental supervisado.

Figura 121

Frondosidad de la planta de albahaca en la semana 7



Fuente: Autoría

4.4.2.6. *Frondosidad de la planta (Orégano)*

En esta sección se analiza la frondosidad del cultivo de orégano correspondiente a la semana 7, haciendo énfasis en la cantidad de ramificaciones como principal indicador de desarrollo estructural, debido a la complejidad del conteo individual de hojas.

La imagen obtenida en esta etapa evidencia una planta con una estructura densa y extensamente ramificada, característica que distingue al orégano cultivado en condiciones indoor supervisadas. Se identificaron múltiples puntos de crecimiento lateral que contribuyen significativamente a la cobertura vegetal y a la eficiencia fotosintética del cultivo, La técnica de cultivos indoor ayuda a mejora el crecimiento de la planta tanto en altura como en ramificación, esto se da a que gracias a la luz artificial la cual es la que estimula el crecimiento de la planta superando a un cultivo tradicional.

Figura 122

Frondosidad del orégano representada por ramificaciones activas en la semana 7



Fuente: Autoría

4.4.2.7. *Tamaño de Raíz (Albahaca)*

Finalmente, se realizó el análisis del sistema radicular de la albahaca al cierre del periodo de seguimiento. Se pudo observar un desarrollo radicular extenso y bien estructurado, favorecido por el uso de sustrato natural (tierra), lo que permitió a las raíces expandirse de manera lateral y vertical sin restricciones significativas.

El cultivo indoor supervisado ofreció condiciones óptimas para el desarrollo de las raíces, especialmente mediante el control preciso de la humedad del suelo, factor determinante para evitar tanto el exceso como el déficit hídrico. Esta regulación eficiente del riego no solo promovió una mejor absorción de nutrientes, sino que también permitió un crecimiento saludable del sistema radicular

Figura 123

Desarrollo radicular de la albahaca en cultivo indoor supervisado



Fuente: Autoría

4.5. Comparativa del Cultivo Tradicional vs Monitoreo

Los resultados obtenidos en ambos escenarios de cultivo supervisado indoor y tradicional permiten realizar un análisis comparativo en términos de desarrollo, producción y frondosidad fisiológica de las plantas. En particular, se destaca que la producción de albahaca en un entorno indoor supervisado por un algoritmo de inteligencia artificial (Random Forest) mostró un desempeño notablemente superior.

Tal como se observa en la Figura 124, el sistema indoor presentó un índice de supervivencia del 100%, sin registrar pérdidas a lo largo del ciclo de cultivo. En cambio, el sistema tradicional tuvo una supervivencia del 60%, representando una diferencia de 40 puntos porcentuales respecto al cultivo supervisado.

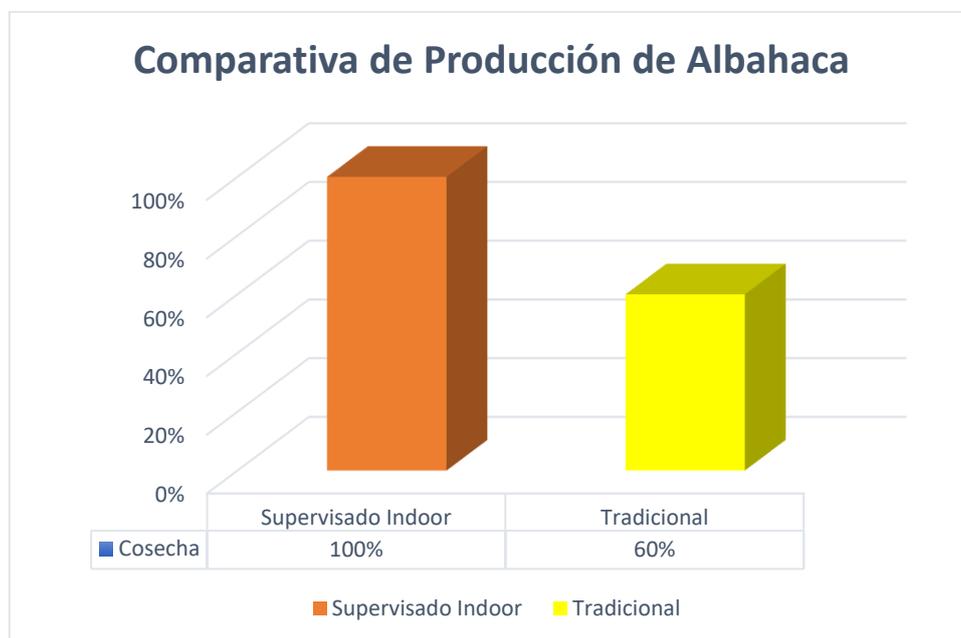
La alta tasa de mortalidad observada en el sistema tradicional fue consecuencia de varios factores. En primer lugar, el estrés hídrico derivado de la falta de control preciso en el riego comprometió el desarrollo temprano de las plantas. Además, a partir de la semana 4, se detectó una infestación por mosca blanca (*Bemisia tabaci*), plaga que afecta principalmente las hojas al absorber su savia, debilitando significativamente la planta.

Como medida de control inicial, se aplicó un fungicida orgánico a base de una mezcla de ají con ajo durante una semana; sin embargo, al no observarse mejoría significativa, se procedió con una fumigación inorgánica. A pesar de las intervenciones, dos plantas no lograron recuperarse y murieron antes de completar su desarrollo.

En contraste, el cultivo supervisado indoor, al encontrarse en un entorno cerrado y controlado, minimizó la exposición a agentes externos como plagas y enfermedades, lo cual garantizó una tasa de supervivencia del 100%. Este resultado confirma la efectividad del sistema inteligente implementado, no solo en términos de protección fitosanitaria, sino también en la mejora general de la estabilidad productiva del cultivo.

Figura 124

Comparativa de Producción en el cultivo de albahaca entre sistema supervisado vs tradicional



Fuente: Autoría

En el caso del cultivo de orégano, los resultados obtenidos reflejan una diferencia menos pronunciada en comparación con la albahaca, pero igualmente significativa. Tal como se presenta en la Figura 125, el sistema supervisado indoor alcanzó una supervivencia del 100%, mientras que el cultivo tradicional registró un 83%, con la pérdida de una planta durante el ciclo de evaluación.

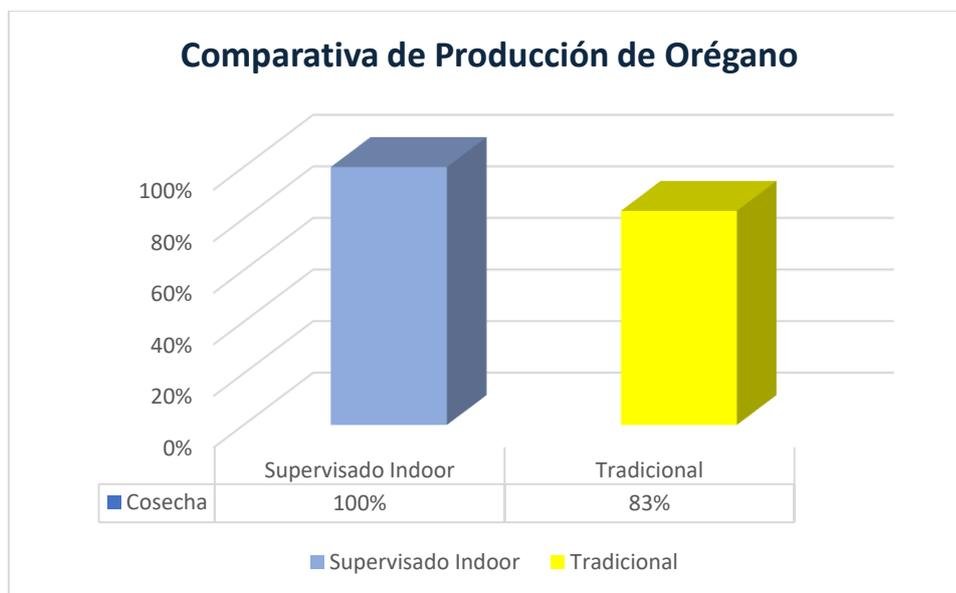
La planta afectada en el cultivo tradicional mostró síntomas de debilitamiento progresivo atribuibles a condiciones ambientales no controladas, principalmente humedad excesiva y acumulación de materia orgánica en el sustrato. A partir de estas observaciones, se aplicó un tratamiento preventivo mediante un fungicida orgánico a base de extracto de ají con ajo, el cual permitió controlar la situación sin necesidad de recurrir a productos químicos sintéticos.

No obstante, la planta en cuestión no logró recuperarse completamente y fue descartada. El resto del cultivo tradicional mantuvo un estado vegetativo aceptable, aunque con una menor

densidad de ramificaciones y ligera decoloración foliar, en comparación con el cultivo supervisado.

Figura 125

Comparativa de Producción en el cultivo de orégano entre sistema supervisado vs tradicional



Fuente: Autoría

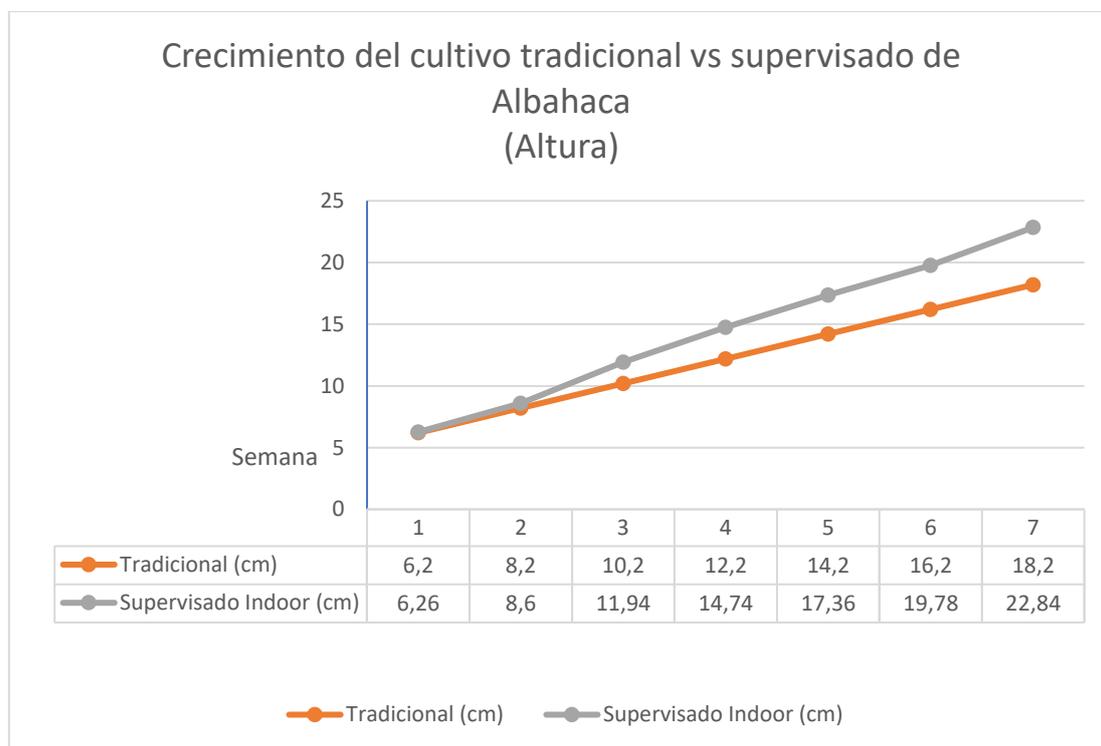
Por otro lado, en términos de desarrollo estructural, se realizó una comparativa del crecimiento en altura entre el cultivo tradicional y el cultivo indoor supervisado de albahaca. La Figura 126 muestra la evolución de la altura en centímetros durante las siete semanas de seguimiento, hasta alcanzar la etapa considerada apta para cosecha.

La semana 7 fue tomada como punto de corte para el análisis, ya que corresponde a la tercera fase vegetativa de la planta, en la cual se recomienda la recolección de hojas antes de que inicie el proceso de floración. Según el gráfico, durante las primeras cuatro semanas, ambos cultivos presentaron un crecimiento similar, con una diferencia mínima entre ellos. Esto se debe a que, posterior al trasplante de plántulas al sustrato de tierra, las plantas requieren entre 2 a 3 semanas de adaptación fisiológica al nuevo entorno.

A partir de la semana 5, se evidencia un cambio en la tendencia: el cultivo supervisado comienza a incrementar su crecimiento a mayor ritmo, diferenciándose claramente del cultivo tradicional. Esta diferencia alcanza entre 3 a 4 centímetros al finalizar la semana 7, lo cual refleja la influencia positiva del sistema indoor supervisado en el desarrollo vegetativo de la albahaca.

Figura 126

Comparativa de crecimiento del cultivo de Albahaca (Tradicional vs Controlado)



Fuente: Autoría

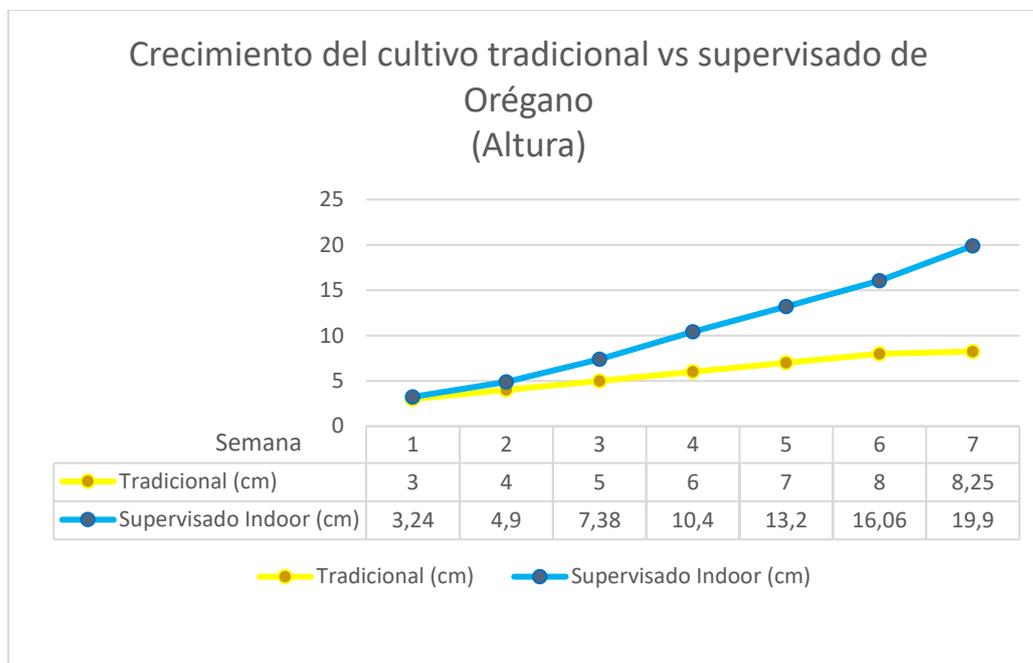
Durante las primeras dos semanas, ambos sistemas presentaron un desarrollo inicial similar, con una ligera ventaja en el cultivo supervisado. Sin embargo, a partir de la semana 3, se observa una aceleración sostenida en el crecimiento de las plantas bajo el sistema indoor, lo cual marca una diferencia progresiva frente al cultivo tradicional (Véase en la figura 127).

Al llegar a la semana 7, el cultivo supervisado alcanzó una altura de 19,9 cm, mientras que el tradicional se limitó a 8,25 cm, mostrando una diferencia acumulada de más de 11 cm. Esta tendencia sugiere que el ambiente controlado, gestionado mediante el sistema inteligente,

permitió optimizar las condiciones para el desarrollo vertical del orégano, como la disponibilidad de luz, humedad y temperatura.

Figura 127

Comparativa de crecimiento del cultivo de Orégano (Tradicional vs Controlado)



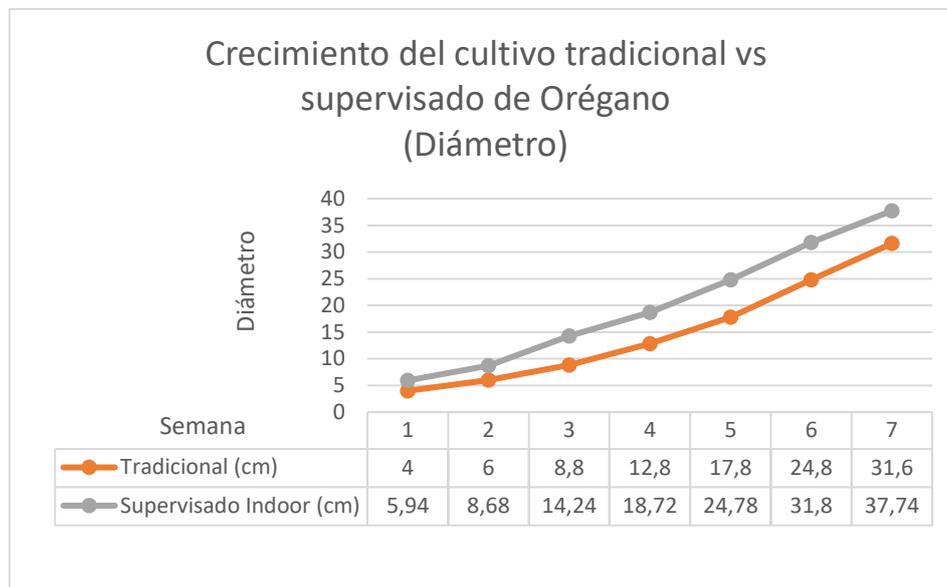
Fuente: Autoría

Siguiendo con el análisis del desarrollo del cultivo, se presenta la evaluación del crecimiento en diámetro del orégano, el cual se observa en la Figura 128. Esta variable representa la expansión horizontal de la planta, característica morfológica relevante en especies como el orégano debido a su hábito de crecimiento rastrero y ramificación densa.

Los resultados muestran que, desde las primeras semanas, el cultivo supervisado indoor mantuvo una tasa de crecimiento horizontal superior en comparación con el sistema tradicional. Durante la semana 1, la diferencia ya era perceptible (5,94 cm vs 4,00 cm), y esta brecha se amplió progresivamente hasta alcanzar, en la semana 7, un diámetro de 37,74 cm en el cultivo supervisado, frente a 31,6 cm en el cultivo tradicional.

Figura 128

Desarrollo del diámetro del cultivo tradicional vs supervisado de Orégano



Fuente: Autoría

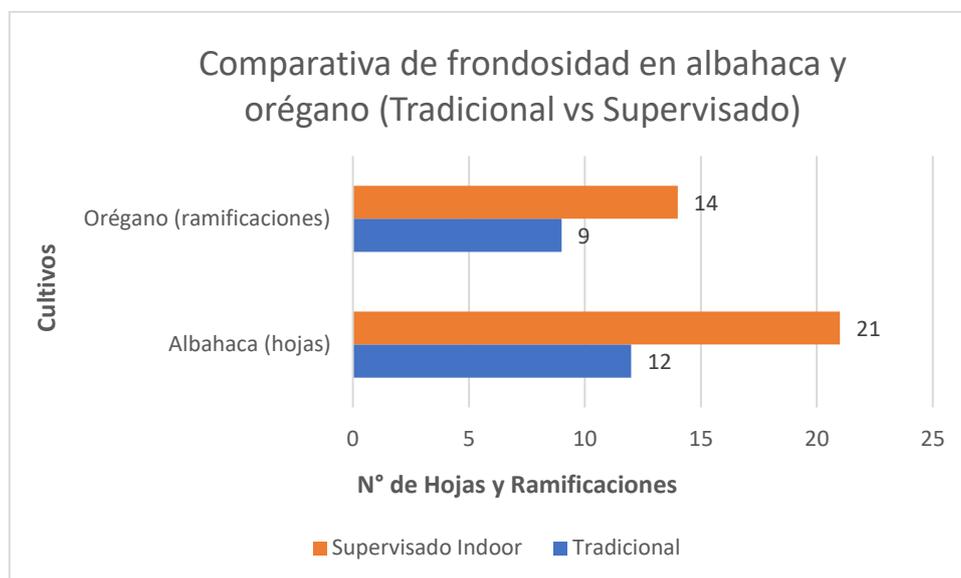
Para complementar el análisis del desarrollo estructural de ambos cultivos, se realizó una evaluación de la frondosidad, medida a través del número total de hojas en albahaca y ramificaciones en orégano. Los resultados se presentan en la Figura 128, donde se compara el desempeño del cultivo tradicional frente al cultivo indoor supervisado.

En el caso de la albahaca, el sistema supervisado alcanzó un total de 21 hojas por planta, frente a las 12 hojas obtenidas en el sistema tradicional. Esta diferencia refleja una mayor actividad foliar y una mejor respuesta fisiológica bajo condiciones controladas, favorecida por el monitoreo continuo de variables como humedad, temperatura y luminosidad.

Respecto al orégano, se contabilizaron 14 ramificaciones en el sistema indoor, en contraste con 9 ramificaciones en el cultivo tradicional. Esta expansión lateral más pronunciada en el cultivo supervisado sugiere un entorno favorable para la emisión de brotes secundarios, lo cual incide directamente en la cobertura vegetal y el rendimiento potencial.

Figura 129

Comparativa de frondosidad en albahaca (hojas) y orégano (ramificaciones) entre cultivo tradicional y supervisado indoor



Fuente: Autoría

Con la orientación del Ing. Oswaldo Cárdenas, especialista en el uso de tecnologías aplicadas al desarrollo agrícola, se llevó a cabo un análisis comparativo entre dos enfoques de producción vegetal: el cultivo tradicional y el cultivo indoor supervisado. La primera fase corresponde a un sistema convencional desarrollado en suelo, sin intervención tecnológica. En contraste, la segunda fase contempla la implementación de un sistema indoor supervisado, que integra sensores ambientales y algoritmos de aprendizaje supervisado para el control del entorno de cultivo.

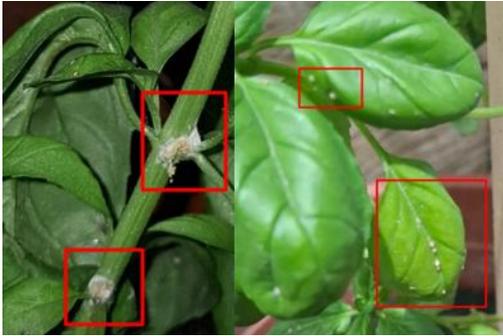
El monitoreo en la fase supervisada se inició desde el trasplante de plántulas de albahaca y orégano, permitiendo un seguimiento detallado del desarrollo morfológico bajo condiciones controladas. La Tabla 56 presenta la comparación técnica entre ambas modalidades, considerando variables clave como crecimiento, frondosidad, estado foliar y supervivencia de las plantas.

Tabla 56

Comparativa del cultivo Indoor de Albahaca y Orégano vs el Tradicional

Comparación entre Cultivos		
	Monitoreado	Tradicional
Desarrollo de plantas Albahaca (Altura)	<ul style="list-style-type: none"> - Altura adecuada de 20 a 22 cm - Ergura Adecuada 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura adecuada de 15 a 17 cm - Hojas caídas - Síntomas de enfermedad 
Desarrollo de plantas Orégano (Altura)	<ul style="list-style-type: none"> - Altura adecuada de 18 a 19 cm - Expansión adecuada 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura adecuada de 15 a 17 cm - Hojas caídas - Síntomas de enfermedad 
Coloración de Hojas (Albahaca)	<ul style="list-style-type: none"> - Hojas gruesa de aspecto riguros - Bordes verdes - Hojas fuertes 	<ul style="list-style-type: none"> - Hojas débiles - Bordes amarillentos - Síntomas de enfermedad, o estrés hídrico

		
<p>Coloración de Hojas (Orégano)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hojas gruesa de aspecto riguros - Bordes verdes - Hojas fuertes 	<ul style="list-style-type: none"> - Hojas débiles - Bordes cafeseos - Síntomas de enfermedad, o estrés hídrico 
<p>Zona Radicular (Albahaca)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Color blanco y grueso - Raíces extensas - Tamaño de la raíz de 15 a 20cm 	<ul style="list-style-type: none"> - Color blanco y grueso - Raíces sumamente cortas - Tamaño de la raíz de 5 a 7cm 
<p>Estado del cultivo Albahaca</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Color verde brillante, sin manchas 	<ul style="list-style-type: none"> - Color verde opaco con zonas amarillentas

	<ul style="list-style-type: none"> - Tallo robusto de color verde claro - Alta frondosidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Tallo robusto de color verde claro - Menor número de hojas 
<p>Estado del cultivo Orégano</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Color verde brillante, sin manchas ni signos de clorosis. - Tallo robusto de color verde claro - Alta densidad de ramificaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de manchas amarillas o marrones, aparición de micelio blanquecino - Tallo débil co signos de quebradez - baj densidad de ramificaciones 

Fuente: Autoría

4.6. Costos Del Sistema

En el siguiente apartado se describe el costo total asociado a los componentes que integran el sistema inteligente para cultivos indoor. Los elementos considerados en el análisis incluyen: hardware, software, infraestructura y trabajo de ingeniería. Cada uno de estos componentes se detalla a continuación, especificando su función dentro del sistema y su aporte al costo final del proyecto.

4.6.1. Costo de Hardware

En la siguiente sección se presenta el detalle de los elementos de hardware utilizados para la construcción del sistema de cultivo indoor, incluyendo tanto los dos nodos secundarios como el nodo central, junto con sus respectivos sensores y actuadores integrados en cada uno de ellos. Los costos reflejados en la Tabla 57 se basan en precios de referencia obtenidos en MercadoLibre, plataforma donde se realizó la mayoría de las adquisiciones de los componentes requeridos para la implementación del sistema.

Tabla 57

Costos de Hardware

Equipos	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- Raspberry pi 5	1	\$170	\$170
- ESP32-WROOM-32D	2	\$18	\$36
- Cargador Raspberry pi 5	1	\$14	\$14
- Cargadores Esp32	2	\$10	\$20
- Sensor Capacitivo Humedad de Suelo V2	7	\$3.60	\$25.2
- Sensor MQ-135	2	\$4	\$8
- Sensor DHT 11	2	\$3	\$6
- Sensor LDR	2	\$2	\$4

- Sensor TDS	1	\$35	\$35
- Tubos LED, plantas	4	\$12	\$48
- Electroválvulas	2	\$12	\$30
- Modulo Relé	5	\$3.5	\$17.5
- MicroSD de 64GB	1	\$12	\$12
- Ventiladores de 12V	4	\$10	\$40
- Elementos electrónicos varios	1	\$30	\$30
		TOTAL	\$495.7

Fuente: MercadoLibre Ecuador

4.6.2. Costo de Infraestructura

En el siguiente apartado se detalla el costo asociado a la infraestructura física utilizada en la implementación del sistema de cultivo indoor. Esta categoría incluye todos los componentes externos necesarios para el montaje estructural, tales como soportes, materiales de fijación, cajas de protección para los nodos, y elementos complementarios destinados a asegurar la estabilidad, seguridad y funcionalidad del sistema.

Tabla 58

Costos de Infraestructura

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- Manguera ½ ''	15m	\$1.2/m	\$18
- Conexión para manguera ½ ''	1	\$3.5	\$3.5
- Teflón	1	\$1	\$1
- Pega Tubo	2	\$3.25	\$6.5
- Uniones de Manguera	10	\$0.50	\$5

- Abrazaderas de Manguera	7	\$0.50	\$3.5
- Cable gemelo	25m	\$0.40	\$10
- Taipe	2	\$0.60	\$1.2
- Silicona	4	\$0.25	\$1
- Fungicida	1	\$4	\$4
- Amarras 20cm	1	\$4	\$4
- Cajas Protectoras	4	\$3	\$12
- Caja Protectora Raspberry pi 5	1	\$7	\$7
- Manguera de goteo	6m	\$1.7	\$10.2
- Infraestructura	1	\$300	\$300
- Base de Infraestructura	2	\$40	\$80
		TOTAL	\$466.9

Fuente: Autoría

4.6.3. Costos de Ingeniería

Para los costos de ingeniería, se considera el tiempo dedicado al diseño, implementación, documentación y pruebas del sistema. Esto incluye el estudio de campo y la planificación técnica. Los valores detallados se presentan en la tabla siguiente, según las horas trabajadas y su costo estimado.

Tabla 59

Costos de Ingeniería

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- Estudio de campo, diseño, revisión e implementación de la infraestructura del sistema.	1	\$700	\$700

- Documentación	1	\$20	\$20
- Mantenimiento del sistema Indoor	1	\$40	\$40
		TOTAL	\$760

Fuente: Autoría

4.6.4. Costos de Software

En la Tabla 60 se detallan los costos asociados al software utilizado en el desarrollo del sistema de cultivo indoor. Se considera un valor de 0,00 USD, ya que todas las herramientas empleadas corresponden a plataformas de código abierto (Open Source), entre las que se incluyen:

Tabla 60

Costos de Software

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
- Python	1	\$0	\$0
- IDE Arduino	1	\$0	\$0
- IONIC	1	\$0	\$0
- ANDROID STUDIO	1	\$0	\$0
- Sistema Operativo Raspbian	1	\$0	\$0
- Fritzing	1	\$0	\$0
- Sketchup	1	\$0	\$0
		TOTAL	\$0

Fuente: Autoría

4.6.5. Costo Global del Sistema

Finalmente, en la Tabla 61 se presentan los costos totales invertidos en la implementación del sistema, resultado de la suma de todos los componentes detallados en los apartados anteriores: hardware, infraestructura, trabajo de ingeniería y software.

Tabla 61

Costo total del sistema

Descripción	Subtotal (USD)
- Costos de Hardware	\$495.7
- Costos de Infraestructura	\$466.9
- Costos de Ingeniería	\$760
- Costos de Software	\$0
TOTAL	\$1722.6

Fuente: Autoría

De acuerdo con la Tabla 61, el costo total de implementación del sistema inteligente para cultivos indoor asciende a 1,722.60 USD, distribuidos entre hardware, infraestructura, trabajo de ingeniería y software. Es importante señalar que el valor se ve incrementado principalmente por los costos de desarrollo e implementación técnica, ya que al tratarse de un prototipo incluye actividades como diseño, pruebas, montaje y validación en campo.

Sin embargo, si se considera únicamente el costo neto de replicación del sistema sin incluir el componente ingenieril, el valor se reduce significativamente a 962.60 USD, lo cual lo vuelve competitivo y viable para su aplicación en ambientes comerciales. Gracias a su modularidad, este sistema puede ser adaptado a una amplia variedad de cultivos como cannabis medicinal, rosas de exportación, fresas, entre otros, así como a escalas mayores mediante la ampliación de sus nodos y unidades de control, promoviendo una recuperación ágil de la inversión inicial.

4.7. Beneficios del Sistema

En este apartado se considera los beneficios adquiridos de la implementación completa del SISTEMA INTELIGENTE PARA EL CULTIVO DE PLANTAS MEDICINALES BAJO CONDICIONES INDOOR, MEDIANTE EL USO WSN Y TÉCNICAS DE IA.

- Uno de los principales beneficios es generar mayor tasa de supervivencia y rendimiento del cultivo en comparación con los métodos tradicionales, alcanzando un 95% de éxito en las pruebas indoor supervisadas.
- Otro de los beneficios de esta técnica al operar en entornos cerrados y monitoreados, se elimina la presencia de plagas como la mosca blanca o el mildiu, así evitando el uso de fungicidas inorgánicos que afectan a la salud del consumidor.
- Este sistema permitió mantener los parámetros ambientales ideales para el crecimiento de estos cultivos, como la humedad, la temperatura, la calidad de aire, y su luminosidad
- La integración del modelo Random Forest, permite la toma de decisiones inteligentes ante el estado de los cultivos, así manteniendo de manera automática la sobrevivencia de los cultivos, así permitiendo la comodidad del usuario.
- El proyecto promueve una agricultura más limpia, eficiente y tecnológicamente avanzada, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con seguridad alimentaria y uso responsable de recursos.
- El sistema desarrollado está diseñado para entornos indoor y resulta ideal para espacios reducidos dentro de zonas urbanas, como habitaciones, cuartos adaptados o áreas interiores con acceso a energía eléctrica. Al no depender de luz solar directa ni de amplios terrenos, su estructura vertical optimiza el uso del espacio disponible, permitiendo una producción eficiente en ambientes controlados y fuera del alcance de las limitaciones de la agricultura convencional.

COCLUSIONES

- Tras la revisión bibliográfica realizada, se logró establecer un estado del arte actualizado sobre el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) y orégano (*Origanum vulgare*) con fines medicinales, identificando tanto su valor terapéutico y culinario como las limitaciones propias de los métodos tradicionales frente a las técnicas de producción controlada. A partir de esta investigación, se recopiló información relevante sobre tecnologías emergentes aplicadas a la agricultura, como el Internet de las Cosas (IoT), redes de sensores inalámbricos (WSN) y algoritmos de inteligencia artificial, lo que permitió sentar las bases conceptuales del sistema inteligente propuesto. Dicho sistema fue desarrollado bajo un enfoque de software y hardware libre, garantizando su viabilidad técnica y económica para cultivos indoor en espacios reducidos. Esta propuesta constituye un aporte significativo a la integración de tecnologías embebidas en la agricultura urbana, permitiendo alcanzar un mayor nivel de precisión en los procesos de cultivo, en línea con el desarrollo tecnológico que se promueve actualmente en Ecuador.
- Con base en las necesidades del usuario y el entorno de implementación, se definieron con precisión los requerimientos de hardware y software del sistema. Se determinó que la comparación continua entre variables del cultivo tradicional y del entorno controlado es fundamental para ajustar los parámetros y reducir errores. Este proceso permitió construir bases de datos depuradas y confiables para el entrenamiento del modelo Random Forest, alcanzando un alto nivel de precisión. En total, se utilizaron 10,000 registros de albahaca (filtrados de 120,000) y 12,000 de orégano (depurados de 15,000), lo que permitió alcanzar una exactitud del 98 % en la clasificación del estado del cultivo, validando la efectividad del enfoque propuesto.

- Las pruebas de rendimiento realizadas permitieron validar la efectividad del sistema propuesto en comparación con métodos tradicionales. Los resultados evidenciaron un mayor crecimiento, frondosidad, salud foliar y tasa de supervivencia en los cultivos supervisados, con una reducción significativa de plagas y enfermedades gracias al entorno controlado. El sistema demostró ser capaz de adaptarse a condiciones críticas y mantener un monitoreo constante en tiempo real.
- Se concluye que uno de los factores más determinantes en el rendimiento del sistema fue la luminosidad, ya que la iluminación artificial adecuada cumple un papel fundamental en el desarrollo vegetal de la planta. Esta incide directamente en la estimulación de la fotosíntesis, en el crecimiento foliar y en la reducción del estrés ambiental propio de cultivos en entornos cerrados. Para este proyecto se seleccionó una iluminación de tono fucsia, cuya elección fue previamente justificada, dado que esta combinación de espectros es ampliamente utilizada para estimular tanto la coloración de las hojas como el proceso de floración
- Finalmente, con base a las pruebas realizadas y el análisis comparativo entre los dos tipos de cultivos se concluye que el sistema presenta beneficios y resultados positivos, respecto al crecimiento, desarrollo y producción de las plantas tanto de albahaca y de orégano, así esta técnica puede ser aplicada a otros cultivos medicinales o aromáticos, e incluso adaptarse a un modelo comercial de mayor escala, demostrando la viabilidad técnica y funcional del sistema inteligente para cultivos indoor.

RECOMENDACIONES

- Se debe optimizar la calibración de los sensores periódicamente basándose en las hojas técnicas que nos brinda el proveedor, especialmente aquellos vinculados a luminosidad, humedad del suelo y temperatura, ya que cualquier desviación en las mediciones puede afectar la toma de decisiones del sistema inteligente.
- Es crucial realizar una depuración exhaustiva de la base de datos correspondiente a cada cultivo, dado que los primeros registros recolectados suelen ser de carácter preliminar y se emplean principalmente para pruebas de funcionamiento y calibración de sensores. Al eliminar estos datos de prueba, se evita introducir ruido o inconsistencias en el conjunto de entrenamiento, lo que reduce la probabilidad de obtener falsos positivos y mejora significativamente el rendimiento y la precisión del algoritmo de clasificación.
- Incorporar iluminación con espectros ajustables (LED RGB para agricultura), que permita adaptar la intensidad y tipo de luz según la etapa fenológica del cultivo, especialmente si se desea escalar a otras especies vegetales.
- Monitorear el consumo energético total del sistema indoor, y estudiar su viabilidad con fuentes de energía renovable, como paneles solares, para fomentar la sostenibilidad del proyecto.
- Tras la obtención de resultados favorables, se recomienda difundir los hallazgos del proyecto en espacios académicos y tecnológicos, con el objetivo de promover el uso de sistemas inteligentes aplicados a la agricultura como una alternativa eficiente, sostenible y replicable. Esta difusión puede contribuir al fortalecimiento del conocimiento en áreas como la automatización agrícola, el uso de tecnologías emergentes.

BIBLIOGRAFÍA

Aguayo. (2004). *INTRODUCCIÓN AL MICROCONTROLADOR*.

<http://usuarios.lycos.es/sfriswolker>

Albado, Saez, & Ataucusi. (2001). *Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del Origanum vulgare (orégano)*.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-

130X2001000100004

Arcila, L. C., Loarca, P. G., Lecona, U. S., & González de Mejía, E. (1966). Archivos

latinoamericanos de nutrición. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 100–

111. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-

06222004000100015&lng=es&nrm=iso&tlng=

Balarezo López, G. (2018). *PLANTAS MEDICINALES: UNA FARMACIA NATURAL PARA*

LA SALUD PÚBLICA MEDICINAL PLANTS: A NATURAL PUBLIC HEALTH

PHARMACY. 6, 159–170.

BASF. (2022). *¿Qué permite el Internet de las cosas en la agricultura?*

<https://agriculture.basf.com/ec/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-iot.html>

Baskerville, R. L., & Wood-Harper, A. T. (1996). A critical perspective on action research as

a method for information systems research. *Journal of Information Technology*, 11(3),

235–246. <https://doi.org/10.1080/026839696345289>

Berdonces. (1995). *Dialnet-Principios Activos Y Preparaciones Farmaceuticas De Las P-*

4989379.

Berlanga, & García. (2010). *Lecture Notes in Electrical Engineering | Book series home*.

<https://www.springer.com/series/7818>

- Bermúdez del Sol, E., Pazmiño, C., Briones, N., & Bermúdez, A. (2022). *medicinales por la población del Cantón Salcedo, Cotopaxi, Ecuador Traditional use of medicinal plants by the population of Canton*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6743038>
- Carhuapoma, Carhuapoma, Bonilla, Suarez, Villa, & López. (2005). Estudio de la composición química y actividad antioxidante del aceite esencial de *Luma chequen* (Moliná) A. Gray “arrayán.” *Ciencia e Investigación*, 8(2), 73–79. <https://doi.org/10.15381/ci.v8i2.5306>
- Chicaiza. (2022). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA SIMULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE RIEGO, TEMPERATURA Y HUMEDAD DENTRO DE UN INVERNADERO DE 4500 METROS CUADRADOS EN. *Universidad Politécnica Salesina Sede Quito*.
- Contreras, R. S., Gómez, J., & Solano, L. (2017). *Involucrando a profesores de primaria en el diseño de un juego serio mediante la metodología investigación-acción y co-creación*. <https://doi.org/10.17013/risti.20.115-130>
- Danah, F. (2024). *How to Grow Oregano Indoors – Urban Leaf*. https://www.geturbanleaf.com/blogs/herbs/growing-oregano-indoors?srsltid=AfmBOooBKMCfeROOLYzmXEYph4vGA3CdoBQbuYFAGsKXtsYi32TCDeb_&utm_source=chatgpt.com
- De Titulación, T. (n.d.). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA*.
- Di Mascio, T., & Tarantino, L. (2016). New design techniques for new users: An action research-based approach. *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, 18, 83–96. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40265-9_6

- El ciclo definitivo de la agricultura de precisión: El manual de las 4 etapas.* (n.d.). Retrieved July 4, 2024, from <https://www.farm21.com/es/guias/precision-agricultura-ciclo-ultimo/>
- El Universo. (2019). *Smart Farming, la forma inteligente de mejorar los cultivos y de cuidar el suelo* | Doctor Tecno | La Revista | El Universo. <https://www.eluniverso.com/larevista/2019/08/21/nota/7482033/smart-farming-forma-inteligente-mejorar-cultivos-cuidar-suelo/>
- FAO. (2020). *Ganadería climáticamente inteligente en Ecuador*. FAO ; <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca9462es>
- Farías, C., Cisternas, C., Morales, G., Muñoz, L., Valenzuela, R., Farías, C., Cisternas, C., Morales, G., Muñoz, L., & Valenzuela, R. (2022). Albahaca: Composición química y sus beneficios en salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 49(4), 502–512. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182022000500502>
- García, E., & Flego, F. (2018). *Agricultura de Precisión*.
- Gasex. (2021). *Cultivo Indoor - Gasex*. <https://gasex.cl/agroindustria/cultivo-indoor/>
- Giacchè, G. (2024). Laurence Granchamp, Sandrine Glatron (dir.), 2021, Militantismes et potagers, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 317 pages. *Espaces et Sociétés*, ISSN 0014-0481, N°. 191, 2024 (Ejemplar Dedicado a: *Varia : Dynamiques Sociales Des Gradients Urbains*), 191, 16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9557544>
- González, A., López, J., Xavi, V., & Guillen, V. (2017). *IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones*.
- Guevara. (2022). *Sistema autónomo de control y supervisión de condiciones nutricionales del agua mediante una red de sensores y algoritmos de aprendizaje supervisado para el regadío en cultivo de espinaca bajo condiciones de hidroponía NFT vertical*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12233>

- Hernández. (2014). *¿Qué son los Microcontroladores? – TallerElectronica.com / Blog.*
<https://tallerelectronica.com/2014/11/30/microcontroladores/>
- Vanzile, J. (2025). *How to Grow and Care for Basil Indoors.*
https://www.thespruce.com/grow-basil-indoors-1902741?utm_source=chatgpt.com
- IBM. (n.d.). *What Is Supervised Learning? | IBM.* Retrieved July 18, 2024, from
<https://www.ibm.com/topics/supervised-learning>
- ISO/IEC/IEEE. (2018). *ISO/IEC/IEEE 29148:2018(en), Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering.*
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec-ieee:29148:ed-2:v1:en>
- ITU. (2012). *ITU-T Recommendation database.* <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=y.2060>
- Kandris, D., Nakas, C., Vomvas, D., & Koulouras, G. (2020). Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to-Date Survey. *Applied System Innovation 2020, Vol. 3, Page 14, 3(1), 14.* <https://doi.org/10.3390/ASI3010014>
- Losilla, F., Garcia-Sanchez, A. J., Garcia-Sanchez, F., Garcia-Haro, J., & Haas, Z. J. (2011). A Comprehensive Approach to WSN-Based ITS Applications: A Survey. *Sensors 2011, Vol. 11, Pages 10220-10265, 11(11), 10220–10265.* <https://doi.org/10.3390/S111110220>
- Luministrip. (2022). *Lumistrips ES Guía de iluminación para el crecimiento de las plantas.*
 Guía de Iluminación Para El Crecimiento de Las Plantas (Horticultura) Con LEDs.
<https://www.es.lumistrips.com/lumistrips-blog/plant-growth-led-lighting-guide-es/>
- Marín, & López. (2024). *Las 10 enfermedades que el orégano puede ayudar a combatir.* Las 10 Enfermedades Que El Orégano Puede Ayudar a Combatir.
https://www.sabervivirtv.com/medicina-general/10-enfermedades-oregano-ayuda-combatir_8607

- Marmolejo. (2017). *Microcontrolador - qué es y para que sirve - HeTPro-Tutoriales*.
<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- Martínez. (2008). Agricultura tradicional campesina: características ecológicas. *Tecnología En Marcha*, ISSN 0379-3982, ISSN-e 2215-3241, Vol. 21, N°. 3, 2008, Págs. 3-13, 21(3), 3–13.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835774&info=resumen&idioma=SPA>
- Mehreen. (2023). *Understanding Supervised Learning: Theory and Overview - KDnuggets*.
 Understanding Supervised Learning: Theory and Overview.
<https://www.kdnuggets.com/understanding-supervised-learning-theory-and-overview>
- Menoni, C., Alonso Cáceres, D., Saravia Cortés, F. A., Pérez, N., & Steinfeld, L. (2023). Sistema de monitoreo y control de cultivo indoor de cannabis. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, ISSN 2301-1092, ISSN-e 2301-1106, N°. 24, 2023, Págs. 156-171, 24, 156–171.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9015265&info=resumen&idioma=SPA>
- Mora Magallanes, H. V., & Rosas Pari, J. L. (2019). Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en internet de las cosas (IOT). – Caso de estudio cultivo de frijol. *Repositorio Institucional - URP*.
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2294>
- Moreno, S. J., Andres, R., Rodriguez, F., Yenny, G., & Sarmiento Ortiz, K. (n.d.).
Supercomputación basada en la arquitectura ARM.
- Muñoz. (2008). *Action_Research_Una_teoría_MJM MuñozPardo (1)*.

Nilsson, N. J. (1998). *INTRODUCTION TO MACHINE LEARNING AN EARLY DRAFT OF A PROPOSED TEXTBOOK.*

Ojeda, F., Mendez, D., Fajardo, A., & Ellinger, F. (2023). On Wireless Sensor Network Models: A Cross-Layer Systematic Review. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/JSAN12040050>

Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66–84. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2015.08.011>

Olayiwola. (2019). *Medicina tradicional Olayiwola Ake rele.*

Oliveira Miranda, M. A., Velázquez, D., & Bermúdez, A. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América*, ISSN 0378-1844, Vol. 30, N^o. 8, 2005, Págs. 453-459, 30(8), 453–459. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1373833&info=resumen&idioma=SP>

A

OMS. (2024). *Enfermedades diarreicas.* <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/diarrhoeal-disease>

Pinto, A. A., Fouchal, H., Ojeda, F., Mendez, D., Fajardo, A., Ellinger, F., & Co, (A F. (2023). On Wireless Sensor Network Models: A Cross-Layer Systematic Review. *Journal of Sensor and Actuator Networks* 2023, Vol. 12, Page 50, 12(4), 50. <https://doi.org/10.3390/JSAN12040050>

Piranha. (2023). *ZĚGHKGNW JC GSAZKUB.*

Poner, F. (2013). *Minería de datos con KDD: Introducción - DevMedia.*

<https://www.devmedia.com.br/mineracao-de-dados-educacionais-usando-kdd-parte-1/28968>

- Rawat, P., Singh, K. D., Chaouchi, H., & Bonnin, J. M. (2014). Wireless sensor networks: A survey on recent developments and potential synergies. *Journal of Supercomputing*, 68(1), 1–48. <https://doi.org/10.1007/S11227-013-1021-9/FIGURES/20>
- Rey, P. J., Manzaneda, A. J., Valera, F., Alcántara, J. M., Tarifa, R., Isla, J., Molina-Pardo, J. L., Calvo, G., Salido, T., Gutiérrez, J. E., & Ruiz, C. (2019). Landscape-moderated biodiversity effects of ground herb cover in olive groves: Implications for regional biodiversity conservation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 277, 61–73. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2019.03.007>
- Riepma. (2022). *Métricas y beneficios de la agricultura de precisión - Farm21*. <https://www.farm21.com/es/entender-las-medidas-agricolas-de-precision-y-como-puedes-beneficiarte-de-ellas/>
- Rodriguez. (2008). Action Research. Una teoría de cambio para la innovación en la formación del Arquitecto. *Actas Del XII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica | XII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica | 28,29,30,31 Mayo 2008 | Madrid*, 699–706. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4323226>
- SafetyCulture. (2024). *¿Qué es la agricultura de precisión? I SafetyCulture*. <https://safetyculture.com/es/temas/agricultura-de-precision/>
- Sarker, I. H. (2021). Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(3), 1–21. <https://doi.org/10.1007/S42979-021-00592-X/FIGURES/11>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2024). *Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025 – Secretaría Nacional de Planificación*. <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025/>

- Sexton, C., & Ruple, A. (2024). Cómo funcionan los sistemas de cultivo indoor | Tendencias | La Voz del Interior. *Science (New York, N.Y.)*, 384(6701), 1170–1172.
<https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ADL0426>
- Shangomir, R. (2013). *Plants on other worlds - Reference chart : r/worldbuilding*.
https://www.reddit.com/r/worldbuilding/comments/1dui0v/plants_on_other_worlds_reference_chart/?utm_source=chatgpt.com
- Sierra, A. J. (n.d.). *Tema 1: Introducción*.
- Simanca, F. A., Jaime, H., Páez, P., Díaz, E., José, C., & Palacio, V. (2023). La agricultura de precisión y herramientas TIC de apoyo. *Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia*. <https://doi.org/10.16925/9789587604153>
- Tegan. (2024). *What Is Action Research? | Definition & Examples*.
<https://www.scribbr.com/methodology/action-research/>
- Viera, A. F. G., & Viera, A. F. G. (2017). Técnicas de aprendizaje de máquina utilizadas para la minería de texto. *Investigación Bibliotecológica*, 31(71), 103–126.
<https://doi.org/10.22201/IIBI.0187358XP.2017.71.57812>
- Villegas. (2024). *Action Research: What it is, Stages & Examples | QuestionPro*.
<https://www.questionpro.com/blog/action-research/>

ANEXOS

ANEXO 1:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

FORMATO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
(junio 20 del 2025)

• Para garantizar la más amplia participación en las conversaciones entre los involucrados en el desarrollo del proyecto

“SISTEMA INTELIGENTE PARA EL CULTIVO DE PLANTAS MEDICINALES BAJO CONDICIONES INDOOR EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE, MEDIANTE EL USO DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES (WSN) Y TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL”, el Ing. Oswaldo Cárdenas y el equipo de investigación presentan las propuestas de requerimientos del sistema a la mesa de validación, con el objetivo de garantizar la pertinencia técnica y científica del diseño planteado.

• Las propuestas se estructuran en función de los ejes temáticos definidos para el proceso de validación técnica:

- Requerimientos operacionales y de usuario.
- Requerimientos del sistema.
- Requerimientos de arquitectura del sistema.

Estos ejes buscan contribuir a la consolidación de una solución tecnológica eficiente, replicable y sostenible, orientada al control y supervisión inteligente de cultivos medicinales en ambientes controlados (indoor).

• Las siguientes preguntas tienen como fin orientar la identificación, análisis y validación de los requerimientos específicos del sistema propuesto:

1. ¿El sistema se adapta correctamente a las condiciones controladas del entorno indoor sin intervención constante?
2. ¿La interfaz permite visualizar de forma clara variables como temperatura, humedad, luminosidad y calidad del aire?
3. ¿El sistema notifica de manera efectiva cualquier fallo o alerta relevante sobre el cultivo?
4. ¿La iluminación empleada estimula visiblemente el crecimiento foliar y el desarrollo del cultivo?
5. ¿El algoritmo de predicción basado en Random Forest clasifica adecuadamente el estado del cultivo en tiempo real?
6. ¿Los sensores instalados responden con precisión a los cambios ambientales del entorno?
7. ¿El sistema permite comparar fácilmente el rendimiento entre cultivo tradicional e indoor?
8. ¿El almacenamiento de datos en la nube y local asegura la integridad y disponibilidad de la información?
9. ¿Los actuadores (como electroválvulas o luces LED) se activan correctamente según las condiciones medidas?
10. ¿El sistema puede operar durante todo el ciclo del cultivo sin interrupciones críticas?
11. ¿El diseño del sistema facilita su mantenimiento y posibles ampliaciones a otros cultivos?
12. ¿El usuario puede interpretar correctamente las predicciones generadas por el sistema?

13. ¿El sistema aprovecha de manera eficiente el espacio disponible en un entorno reducido (indoor)?
14. ¿La fuente de alimentación es adecuada y segura para todos los componentes utilizados?
15. ¿Se cumplen los objetivos de mejora en producción y sanidad vegetal frente al cultivo tradicional?

Instrucciones para el llenado del instrumento

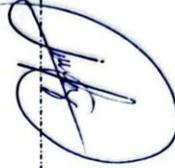
El presente instrumento tiene como finalidad validar, mediante juicio de expertos, el contenido del cuestionario diseñado para evaluar el sistema inteligente para cultivos medicinales bajo condiciones indoor en el cantón Antonio Ante. Su colaboración permitirá asegurar la coherencia, pertinencia y claridad de los ítems planteados.

Por favor, revise con atención cada uno de los ítems del instrumento y seleccione la opción que mejor refleje su nivel de acuerdo, utilizando la siguiente escala:

Valor	Criterio
1	Totalmente en desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4	De acuerdo
5	Totalmente de acuerdo

N°	Item de Validación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	El sistema se adapta correctamente a un entorno indoor sin intervención constante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	La interfaz permite visualizar con claridad las variables monitoreadas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Las alertas notifican fallas del sistema de forma oportuna.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	La iluminación seleccionada favorece el desarrollo de las plantas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	El algoritmo predice eficazmente el estado del cultivo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Los sensores responden con precisión a cambios ambientales.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	El sistema permite comparar el rendimiento entre cultivo tradicional e indoor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	El almacenamiento de datos garantiza integridad y respaldo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Los actuadores se activan correctamente según los datos sensados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	El sistema puede operar de forma continua durante el ciclo del cultivo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	El diseño facilita mantenimiento y escalabilidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	El usuario puede interpretar correctamente las predicciones.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

13	El sistema optimiza el uso del espacio en entornos reducidos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	La fuente de alimentación es adecuada y segura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	El sistema mejora la producción y sanidad frente al cultivo tradicional.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



Ing. Luis Edilberto Suárez



Ing. Oswaldo Cárdenas




Sra. Gabriela Caragulla (Tesisista)

ANEXO 2: Hoja Técnica del Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo V2.0



Hygrometer Modul V1.2 Datenblatt

1. Description

This analog capacitive soil moisture sensor measures soil moisture levels by capacitive sensing, rather than resistive sensing like other types of moisture sensor. It is made of a corrosion resistant material giving it a long service life. Insert it into soil and impress your friends with the real-time soil moisture data.

2. Features

- Voltage: 5 V DC
- Interface: PH2.0-3P
- Connecting cable included
- Dimensions: 100 mm x 22.5 mm x 9.5 mm
- Software: Arduino IDE V1.6.5

Note: In order to make these sensors work with your Raspberry Pi, an ADC converter is required.

3. Applications

- Garden plants
- Moisture detection
- Intelligent agriculture

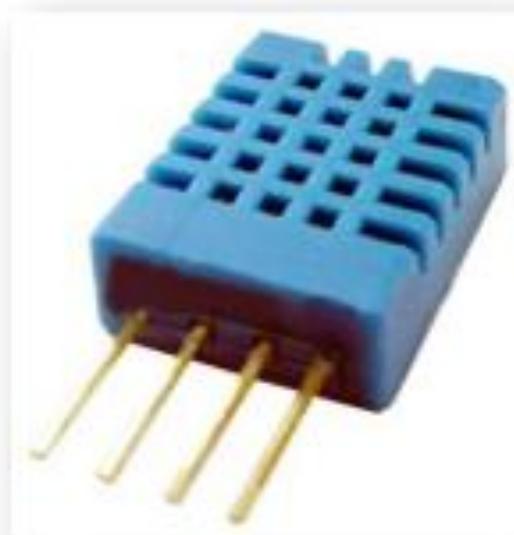
Note: Please allow 0-3mm error due to manual measurement.

5. Calibration**Calibration Code**

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate as 9600 bps  
}  
void loop() {  
  int val;  
  val = analogRead(0); //connect sensor to Analog 0  
  Serial.print(val); //print the value to serial port  
  delay(300);  
}
```



ANEXO 3: Hoja Técnica del sensor de DHT11 Humidity & Temperature



Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

2. Technical Specifications:

Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	± 5%RH	± 2 °C	1	4 Pin Single Row

Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			± 1°C	
Accuracy		± 1°C		± 2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

ANEXO 4: Hoja Técnica del Sensor LDR

Data pack F

Issued March 1997 232-3816



Data Sheet

Light dependent resistors

NORP12 RS stock number 651-507
NSL19-M51 RS stock number 596-141

Two cadmium sulphide (cdS) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.

Guide to source illuminations

Light source	Illumination (Lux)
Moonlight	0.1
60W bulb at 1m	50
1W MES bulb at 0.1m	100
Fluorescent lighting	500
Bright sunlight	30,000

Circuit symbol



Light memory characteristics

Light dependent resistors have a particular property in that they remember the lighting conditions in which they have been stored. This memory effect can be minimised by storing the LDRs in light prior to use. Light storage reduces equilibrium time to reach steady resistance values.

NORP12 (RS stock no. 651-507)

Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak	320V
Current	75mA
Power dissipation at 30°C	250mW
Operating temperature range	-60°C to +75°C

Electrical characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$. 2854°K tungsten light source

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	Ω
	10 lux	-	9	-	k Ω
Dark resistance	-	1.0	-	-	M Ω
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

1. Dark to 110% R_L

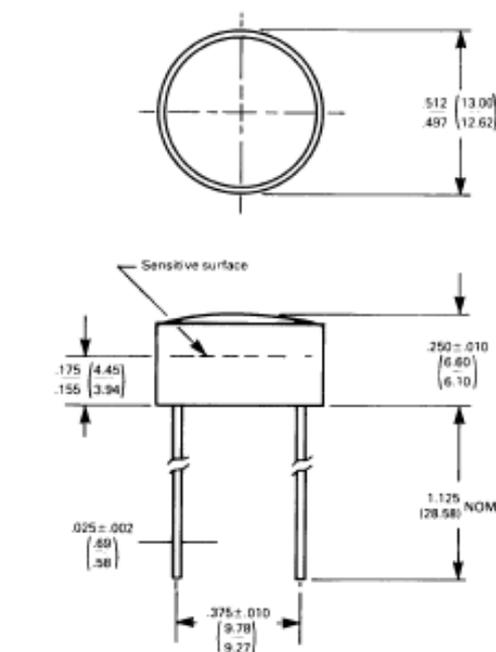
2. To $10 \times R_L$

R_L = photocell resistance under given illumination.

Features

- Wide spectral response
- Low cost
- Wide ambient temperature range.

Dimensions



Anexo 5: Hoja Técnica del sensor MQ-135

Winsen

炜盛科技 Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd

www.winsen-sensor.com

MQ135 Semiconductor Sensor for Air Quality

Profile

Sensitive material of MQ135 gas sensor is SnO_2 , which with lower conductivity in clean air. When target pollution gas exists, the sensor's conductivity gets higher along with the gas concentration rising. Users can convert the change of conductivity to correspond output signal of gas concentration through a simple circuit.

MQ135 gas sensor has high sensitivity to ammonia gas, sulfide, benzene series steam, also can monitor smoke and other toxic gases well. It can detect kinds of toxic gases and is a kind of low-cost sensor for kinds of applications.

Features

It has good sensitivity to toxic gas in wide range, and has advantages such as long lifespan, low cost and simple drive circuit & etc.

Main Applications

It is widely used in domestic gas alarm, industrial gas alarm and portable gas detector.

Technical Parameters

Stable.1

Model		MQ135	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite, Metal cap	
Target Gas		ammonia gas, sulfide, benzene series steam	
Detection range		10~1000ppm(ammonia gas, toluene, hydrogen, smoke)	
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	V_L	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.1V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	R_H	$29\Omega \pm 3\Omega$ (room tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 950mW$
	Sensitivity	S	$R_S(\text{in air})/R_S(\text{in } 400\text{ppm } H_2) \geq 5$
	Output Voltage	V_S	$2.0V \sim 4.0V$ (in 400ppm H_2)
Standard test conditions	Concentration Slope	α	$\leq 0.6(R_{400\text{ppm}}/R_{100\text{ppm}} H_2)$
	Tem. Humidity	$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}; 55\% \pm 5\%RH$	
	Standard test circuit	$V_L: 5.0V \pm 0.1V;$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
Preheat time		Over 48 hours	

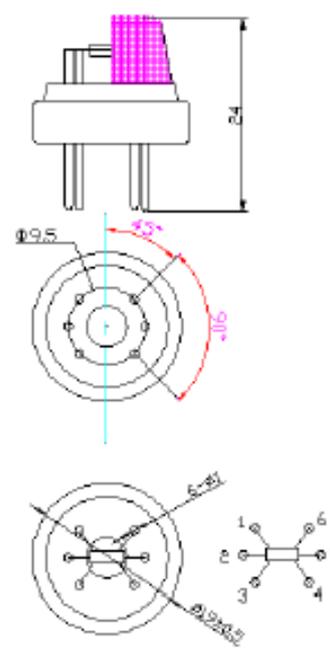


Fig1.Sensor Structure

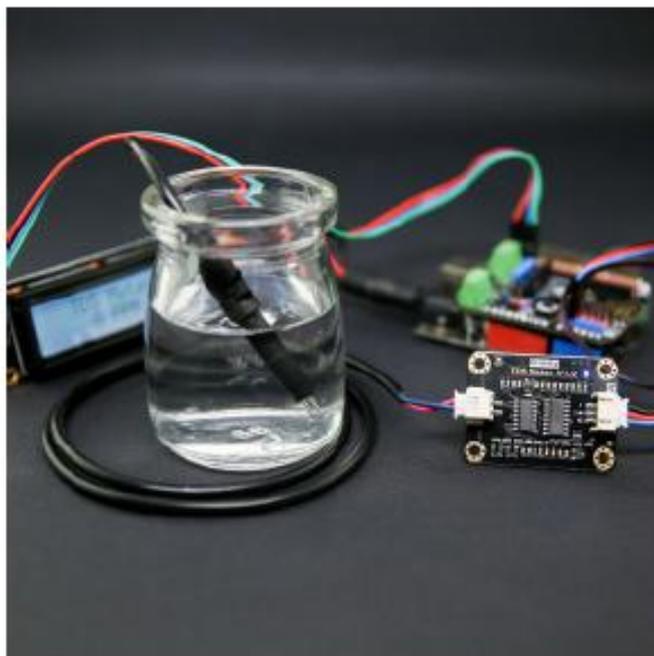
Unit: mm

NOTE: Output voltage (V_S) is V_{RL} in test environment.

Tel: 86-371-67169097/67169670 Fax: 86-371-60932988

Email: sales@winsensor.com

Anexo 6: Hoja Técnica del sensor TDS



Gravity: Analog TDS Sensor / Meter For Arduino

SKU: SEN0244

TDS (Total Dissolved Solids) indicates that how many milligrams of soluble solids dissolved in one liter of water. In general, the higher the TDS value, the more soluble solids dissolved in water, and the less clean the water is. Therefore, the TDS value can be used as one of the references for reflecting the cleanliness of water.

TDS pen is a widely used equipment to measure TDS value. The price is affordable, and it is easy to use, but it is not able to transmit data to the control system for online monitoring to do some water quality analysis. The professional instrument has high accuracy and can send data to the control system, but the price is expensive for the ordinary people. To this end, we have launched an analog TDS sensor kit which is compatible with Arduino, plug and play, easy to use. Matching with Arduino controller, you can build a TDS detector easily to measure the TDS value of liquid.

This product supports 3.3 ~ 5.5V wide voltage input, and 0 ~ 2.3V analog voltage output, which makes it compatible with 5V or 3.3V control system or board. The excitation source is AC signal, which can effectively prevent the probe from polarization and prolong the life of the probe, meanwhile, increase the stability of the output signal. The TDS probe is waterproof, it can be immersed in water for long time measurement.

This product can be used in water quality application, such as domestic water, hydroponics. With this product, you can easily DIY a TDS detector to reflect the cleanliness of water to protect your health.



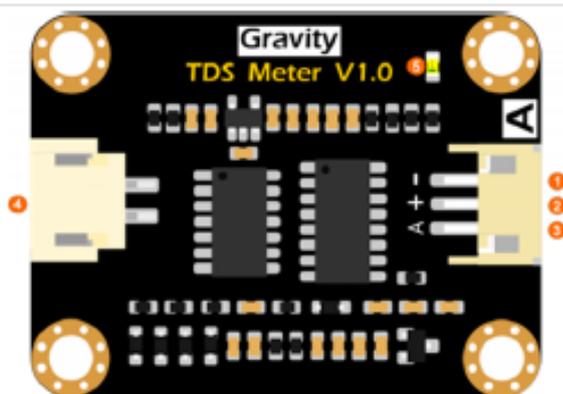
Attention:

- 1.The probe can not be used in water above 55 degrees centigrade.
- 2.The probe can not be left too close to the edge of the container, otherwise it will affect the reading.
- 3.The head and the cable of the probe are waterproof, but the connector and the signal transmitter board are not waterproof. Please be careful.

Specification

- **Signal Transmitter Board**
 Input Voltage: 3.3 ~ 5.5V
 Output Voltage: 0 ~ 2.3V
 Working Current: 3 ~ 6mA
 TDS Measurement Range: 0 ~ 1000ppm
 TDS Measurement Accuracy: $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
 Module Size: 42 * 32mm
 Module Interface: PH2.0-3P
 Electrode Interface: XH2.54-2P
- **TDS probe**
 Number of Needle: 2
 Total Length: 83cm
 Connection Interface: XH2.54-2P
 Colour: Black
 Other: Waterproof Probe

Board Overview

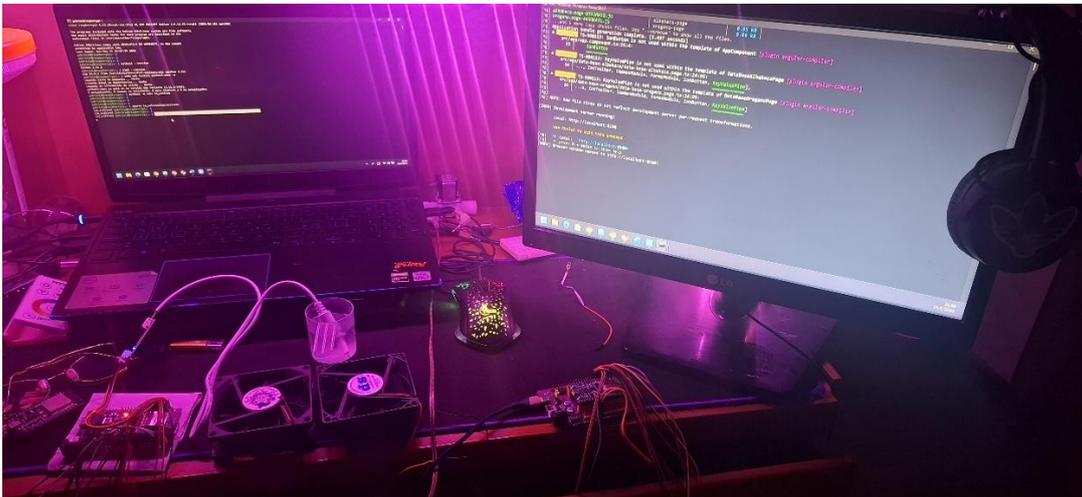


Analog TDS Sensor / Meter For Arduino

Anexo 7: Preparación e Instalación de Estructura para los cultivos



Anexo 8: Pruebas de Calibración de Sensores en Conjunto



Anexo 9: Instalación de Actuadores



Anexo 10: Ubicación de nodos Secundarios



Anexo 11: Sistema Final (Orégano)



Anexo 12: Sistema Final (Albahaca)