



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS,**  
**ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**



**MODALIDAD:**

Proyecto de Investigación ☒

Artículo Académico ☐

**AUTOR:**

Yaguana Caraguay Jeniffer Paulina

**CARRERA:**

Software

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tecnología de la Investigación y Sistemas de Control

**PERIODO:**

marzo 2024 - agosto 2024

**LUGAR Y FECHA DE PRESENTACIÓN:**

Ambato, 29 de diciembre del 2023

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>Tema de investigación</b>	<b>4</b>
1.1	Planteamiento del problema . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Justificación</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Fundamentación teórica</b>	<b>6</b>
5.1	Antecedentes investigativos . . . . .	6
5.2	Marco teórico . . . . .	18
<b>6</b>	<b>Metodología</b>	<b>24</b>
6.1	Modalidad de investigación . . . . .	25
6.2	Población y muestra . . . . .	25
6.3	Recolección de información . . . . .	26
6.4	Procesamiento y análisis de datos . . . . .	27
6.5	Propuesta de solución . . . . .	27
<b>7</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>28</b>

## **A. DATOS INFORMATIVOS**

**MODALIDAD:** Proyecto de Investigación

**AUTOR:** Yaguana Caraguay Jeniffer Paulina

**CARRERA:** Software

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnología de la Investigación y Sistemas de Control

**PERIODO:** marzo 2024 - agosto 2024

**LUGAR Y FECHA DE PRESENTACIÓN:** Ambato, 29 de diciembre de 2023

## **B. CONTENIDOS**

### **1 Tema de investigación**

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA GESTIÓN DE CONSUMO DE AGUA EN LOS CULTIVOS DE PLANTAS DEL VIVERO MICHITA MEDIANTE LÓGICA DIFUSA.

#### **1.1 Planteamiento del problema**

El agua desempeña un papel fundamental en la agricultura, ya que es uno de los principales consumidores de este recurso hídrico. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la actividad agrícola emplea aproximadamente el 70% del suministro mundial de agua dulce [1]. La cantidad de agua utilizada en los campos de cultivo varía según diversos factores, como el tipo de cultivo, las condiciones climáticas, la calidad del suelo y el método de riego empleado. Para aumentar la eficiencia en el uso del agua, es necesario reducir su uso entre el 25% y el 40% de este recurso [1].

En Ecuador las condiciones climáticas varían significativamente entre regiones y estaciones [2]. Esta variabilidad afecta directamente la cantidad de agua disponible, algo fundamental para el óptimo desarrollo de los cultivos vegetales en viveros, incluyendo plantas ornamentales, forestales y frutales. Según el artículo [3], se menciona que en Mulaló el 83% de los agricultores están haciendo un uso excesivo del agua de riego, ya que disponen de cantidades superiores a las necesarias tanto para los cultivos como para la extensión de tierra irrigada.

Por otro lado, la gestión ineficiente del agua puede disminuir la productividad agrícola en viveros. Cuando los cultivos no reciben la cantidad necesaria de agua, se reduce la eficiencia en la producción y se compromete el desarrollo deficiente de las plantas ornamentales, forestales y frutales. Estos desafíos resaltan la importancia crítica de mejorar la eficiencia en la administración del agua en este ámbito específico.

El problema que se plantea y que se busca solucionar a través de esta investigación es el desperdicio de agua que en ciertos momentos se pudiera dar. Este problema se da por la falta de un sistema de monitoreo y control del consumo de agua.

Pero que causa este situación, a continuación, mencionaremos los siguientes:

1. Riego manual: Todos los días se procede a regar las plantas del vivero de manera manual, lo que hace imposible controlar de manera precisa la cantidad de agua que se consume.

2. Escasez de Información: El vivero no dispone de información detallada sobre la cantidad de agua que requiere cada especie de planta.
3. Ausencia de un Sistema: El vivero no cuenta con un sistema que le permita la toma de decisiones frente al uso excesivo de agua.

También es necesario hablar de las consecuencias que generan estos problemas, entre éstas mencionamos las siguientes:

1. Desperdicio de agua: El riego excesivo puede generar un desperdicio de agua, lo que puede tener un impacto negativo al medio ambiente.
2. Aumento de los costos: El desperdicio de agua puede generar un aumento de los costos de producción del vivero.
3. Reducción de la productividad: El riego excesivo puede reducir la productividad del vivero, ya que las plantas pueden sufrir estrés hídrico.

Después de lo expuesto, se puede deducir de manera clara la importancia y el impacto positivo que generará si se lleva a cabo el estudio de este problema.

## **2 Justificación**

El manejo eficiente del agua en los viveros es importante, ya que al implementar un sistema de monitoreo y control del consumo de agua en el Vivero Michita no solo reducirá el desperdicio, sino que también impactará positivamente en el medio ambiente, la productividad y los costos de producción.

Así mismo, se respalda esta necesidad a partir del impacto positivo que experimentaron los agricultores al adoptar sistemas avanzados de riego en Ecuador [4]. Esto demuestra el potencial transformador que un Prototipo de Sistema de Monitoreo y Control basado en Lógica Difusa podría tener en el Vivero Michita. Al igual que estos agricultores, la gestión más precisa y eficiente del agua puede ser fundamental para impulsar la producción de plantas en el vivero.

La investigación propuesta destaca por su enfoque innovador: el uso de la lógica difusa para el desarrollo del sistema de monitoreo y control del consumo de agua. Esta técnica de inteligencia artificial permite tomar decisiones a partir de valores imprecisos, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno, como las condiciones climáticas y las necesidades de las plantas.

Los beneficios obtenidos con la implementación son significativos como:

1. Contribuir a la conservación del agua: El desarrollo de un sistema de monitoreo y control del consumo de agua puede ayudar a reducir el desperdicio de agua, lo que contribuirá a la conservación de este recurso natural.
2. Mejorar la productividad del vivero: El desarrollo de un sistema de monitoreo y control del consumo de agua puede ayudar a mejorar la productividad del vivero, ya que las plantas pueden recibir la cantidad de agua adecuada.
3. Reducir los costos de producción: El desarrollo de un sistema de monitoreo y control del consumo de agua puede ayudar a reducir los costos de producción del vivero, ya que se reducirá el desperdicio de agua.

### **3 Objetivo general**

Implantar un prototipo de un sistema de monitoreo y control para la gestión del consumo de agua en los cultivos de plantas del Vivero Michita mediante lógica difusa.

### **4 Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema de monitoreo que sea capaz de recopilar datos relevantes sobre las condiciones del suelo y la humedad para el crecimiento de las plantas en tiempo real.
- Identificar las combinaciones de reglas y conjuntos difusos en el sistema de monitoreo y control basado en lógica difusa con el fin de mejorar la gestión eficiente del consumo de agua.
- Desarrollar un prototipo del sistema de monitoreo y control, basado en lógica difusa, para gestionar el consumo de agua en los cultivos del Vivero Michita.

### **5 Fundamentación teórica**

#### **5.1 Antecedentes investigativos**

Luego de un análisis en repositorios digitales, plataformas académicas y diversas bases de datos científicas, se ha recopilado una extensa variedad de fuentes pertinentes. Estas fuentes han enriquecido y proporcionado un contexto significativo al proyecto en consideración.

En [18] se implementó un sistema automatizado de riego por goteo. Se utilizó una configuración de sensores para monitorear la humedad del sustrato, la conductividad eléctrica del suelo y el pH del agua, ubicados en contenedores de cultivo individuales con 24 plantas de tomate en cada uno. El proyecto presentó una solución integral para controlar y optimizar las condiciones de cultivo. Se implementó un invernadero que proporcionaba microclimas controlados para mitigar los impactos climáticos externos y mantener un entorno óptimo para el desarrollo de las plantas. Los sensores de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica del sustrato se conectaron a dos controladores difusos tipo Mamdani, encargados de regular el riego y la administración de nutrientes en base a las lecturas obtenidas. En cuanto al hardware utilizado, se combinaron varios componentes específicos. Entre ellos se encuentran sensores como el Sensor Con-BTA y YL-68 para mediciones de pH y humedad, el Sensor Digital de Temperatura DS18B20, junto con tarjetas Arduino Mega y Leonardo con Ethernet Shield para control y comunicación de datos. Se integraron bombas de agua, electroválvulas y otros sensores, cada uno asignado a funciones específicas dentro del sistema de riego por goteo automatizado. El diseño del sistema incluyó la definición de reglas difusas para los controladores, los cuales ejecutaban acciones en función de las lecturas de los sensores. La comunicación se llevó a cabo mediante protocolos Modbus y Ethernet, y los datos se visualizaron a través de una interfaz hombre-máquina para monitorear y operar el sistema. Se realizaron mediciones periódicas mediante sensores y dispositivos de monitoreo para mantener las condiciones óptimas de cultivo. Los tiempos de respuesta de los controladores se mantuvieron dentro de los 5 segundos, comparados con tiempos obtenidos en Matlab. La gestión y visualización de datos se efectuó a través de una interfaz desarrollada en PHP integrada con la Ethernet Shield de Arduino. Esta combinación facilitó la comunicación de datos y la gestión de la base de datos en phpMyAdmin, permitiendo un análisis de las variables del proceso.

En [17], se implementó un sistema automatizado de riego basado en sensorización en los cultivos de ciclo corto. Este se compone de una variedad de componentes electrónicos clave. Entre ellos se encuentran sensores como el Módulo HL 69, el Módulo YL-83 y el DHT22, diseñados para recopilar datos precisos sobre la humedad del suelo, humedad ambiental y temperatura. Además, se emplea un conjunto de actuadores, incluyendo el Módulo Relé de 2 canales y el Módulo RTC, los cuales permiten la ejecución de acciones automáticas en respuesta a los datos recopilados. La centralidad del Arduino Mega como núcleo de control en esta configuración resulta fundamental, coordinando la información de los sensores y tomando decisiones para el riego eficiente de los cultivos. Por otro lado, el software desarrollado para este sistema se basa en la plataforma de Visual Studio Community 2015. Esta elección se respalda en la versatilidad que ofrece, especialmente a través de Windows Form,

facilitando el diseño y la presentación de consultas y reportes generados por el sistema. La integración de una base de datos MySQL-2012 le permitió la creación de archivos de tipo app config para manejar los parámetros de conexión al servidor, facilitando la lectura y almacenamiento de información para el sistema. Cabe destacar que este proyecto siguió una metodología de desarrollo específica. La aplicación de escritorio se llevó a cabo bajo la metodología Cascada, asegurando una secuencia metódica desde el análisis de necesidades hasta la implementación física y la validación del sistema en el terreno. Por otro lado, la implementación del hardware se realizó mediante la metodología Free Hardware, lo que permitió una adaptabilidad y flexibilidad óptimas en la selección y ensamblaje de componentes. Este enfoque integral y sistemático garantizó la efectividad y adaptabilidad del sistema automatizado de riego, que logró resultados significativos como la reducción del consumo de agua en un 37.27%, un aumento del 7.53% en la productividad de los cultivos y un eficiente control de humedad del suelo.

En [11], se desarrolló un sistema de Riego a través de Agentes Inteligentes usando la Tecnología Arduino. Este sistema está enfocado en medir la humedad del suelo a través de sensores. Este sistema busca la efectividad y precisión en el riego, así como la activación y desactivación del sistema mediante lógica difusa. La arquitectura propuesta se basa en agentes inteligentes que interactúan entre sí y con el entorno, utilizando una combinación de lógica difusa y el modelo BDI (Believe, Desire, Intention). El proceso inicia con la placa Arduino MEGA, seleccionada por su capacidad de conectividad y control, en comunicación con diversos sensores, especialmente el sensor de humedad del suelo, y actuadores que controlan el riego. Los sensores recopilan datos sobre la humedad del suelo, que son procesados por un Agente de Campo y luego enviados al Agente de Control. Este último, un agente deliberativo, utiliza lógica difusa para tomar decisiones sobre el riego, basándose en valores de humedad para activar o desactivar el sistema. La lógica difusa se implementa utilizando un sistema MISO (entrada múltiple, salida única), datos de la humedad del suelo y su traducción en variables lingüísticas difusas. Esta arquitectura multiagente se desarrolla sobre la plataforma JADE, siguiendo el estándar FIPA para sistemas multiagente, y consta de tres agentes principales: el Maestro, que supervisa la base de datos y activa el sistema; el de Campo, encargado de recopilar y normalizar los datos de los sensores; y el de Control, responsable de tomar decisiones sobre el riego. La interacción entre Arduino y la computadora se realiza mediante una conexión serial, y se ha desarrollado una interfaz de software que muestra detalles de los sensores y el estado del sistema de riego, con modos manual y automático. Las pruebas del sistema se llevaron a cabo en un proyecto de guayabas taiwanesas, demostrando que el sistema de riego basado en agentes inteligentes permitió un monitoreo en tiempo real de las necesidades de agua



de cada cultivo, adaptándose a las condiciones específicas del suelo.

En [5] el autor se centra en la gestión óptima de la humedad del suelo. Este sistema automatizado utiliza sensores especializados para monitorear constantemente el contenido de humedad en el suelo, enviando datos al sistema cada segundo. Con base a la información recolectada, el sistema emplea lógica difusa para calcular el nivel de control requerido. Esto activa un método de control que ajusta una válvula en la línea de suministro de agua, permitiendo el flujo desde un tanque elevado estático hacia el campo. El proceso de riego se adapta dinámicamente según los niveles de humedad: si la humedad es baja, se inicia el riego a máxima velocidad, aumentando gradualmente hasta alcanzar el nivel deseado. A medida que la humedad aumenta, el sistema ajusta la válvula para reducir el flujo de agua, deteniéndolo al alcanzar el nivel óptimo. Incluso en este estado, el sistema sigue monitoreando y ajustando la válvula hasta que la humedad regresa al nivel bajo, reiniciando así el proceso. Este modelo de riego automatizado, basado en un algoritmo difuso, clasifica la humedad en seis clases: 'Muy bajo, bajo, medio, preciso, superior y desbordado'. Utiliza microcontroladores, motores y bombas para su funcionamiento. Los resultados detallados de las pruebas comparativas entre el método de riego tradicional y este modelo propuesto demostraron una reducción del 12.3% en el uso de agua. Esto equivale a un ahorro de 81 litros por cada 100 metros cuadrados de área de cultivo, lo que representa un avance significativo hacia el uso eficiente del agua en sistemas de riego. Este enfoque, además de su relevancia práctica en sistemas de riego, utiliza lógica difusa para una distribución más precisa y adecuada del agua.

En [8], se ha desarrollado un sistema de riego inteligente que se apoya en la lógica difusa y la tecnología blockchain para gestionar eficientemente el riego de las plantas. Utilizando datos provenientes de sensores que monitorean variables como temperatura, humedad, intensidad de luz, nivel de humedad del suelo y estado de la bomba de agua, este sistema toma decisiones en tiempo real respecto al riego de las plantas. Este sistema se compone de hardware como Arduino-UNO R3, Bread Board, sensores DHT-11 de temperatura y humedad, sensor YL-69 de humedad del suelo, entre otros. Estos dispositivos recopilan información crucial sobre las condiciones ambientales y del suelo, vital para determinar las necesidades hídricas de las plantas. La conectividad inalámbrica se logra mediante un módulo Wi-Fi ESP 8266-01, facilitando la transmisión de datos entre sensores y el servidor central. El proceso comienza con la adquisición de datos en tiempo real provenientes de los sensores, los cuales se transmiten al servidor para su procesamiento. La aplicación móvil para Android permite a los usuarios monitorear y controlar remotamente el sistema de riego, configurar horarios de riego, verificar la humedad del suelo y recibir recomendaciones

personalizadas para el cuidado de las plantas. La metodología empleada se basa en Fuzzy Logic y Blockchain. La lógica difusa facilita la toma de decisiones sobre las necesidades de riego, mientras que la tecnología blockchain asegura la conectividad segura de dispositivos en un entorno IoT, permitiendo el acceso exclusivo a dispositivos confiables. Los resultados experimentales revelan una alta precisión del sistema. La mayoría de los experimentos alcanzan un 100% de efectividad, es decir que la precisión general fue del 95.83%.

En [10], se menciona un sistema de riego inteligente alimentado por energía solar para la agricultura, denominado "IoT-solar energy powered smart farm irrigation system". El sistema recopila múltiples tipos de datos, incluyendo lecturas de humedad y temperatura del suelo, provenientes de sistemas de riego y componentes electrónicos. Sus objetivos principales se centran en el monitoreo remoto, control de humedad, temperatura, energía solar y riego automático en entornos agrícolas. Para lograr esto, se desarrollaron algoritmos de control y lógica difusa, los cuales permiten medir la eficiencia del riego, la adaptabilidad a condiciones climáticas variables y el consumo de energía solar. El sistema se basa en un controlador de National Instruments, myRIO, con un procesador ARM de doble núcleo y una matriz FPGA, conectado a una variedad de sensores como humedad del suelo, humedad y temperatura, sensor de flujo, interruptores de flotador y actuadores como bombas de achique y de diafragma. Es alimentado por energía solar durante el día, gestionada por un controlador de carga para una batería que suministra energía durante la noche o en condiciones de poca luz solar. La unidad DAQ-Sen, con sensores y actuadores con acceso a Internet, permite a los agricultores controlar el sistema a través de una aplicación móvil, integrando el concepto de IoT. El proceso de control se desglosa en tres modos: control local, monitoreo y control móvil, y control basado en lógica difusa. El último modo implica tomar decisiones sobre el encendido o apagado de las bombas basándose en lecturas de sensores y un algoritmo de control difuso. El sistema de riego inteligente propuesto se diseñó con la premisa de ser accesible y controlable desde cualquier ubicación y en cualquier momento, ofreciendo al usuario la capacidad de asumir el control total del sistema cuando así lo desee. Para lograr esta funcionalidad, se implementó un servidor web remoto que se respalda con una base de datos en lenguaje de consulta estructurado (SQL). Esta base de datos se encarga de almacenar de manera organizada y estructurada las mediciones provenientes de los sensores utilizados en el sistema. El software del sistema se desarrolla utilizando LabView, con múltiples bucles ejecutándose en paralelo para el manejo de datos crudos de sensores, lógica de control difuso, cálculo del caudal y almacenamiento de datos para análisis posterior. Además, se utilizó un controlador de sistema en un chip de placa única con conectividad WiFi y conexiones a una celda solar para leer sensores de campo y emitir señales de comando para operar las bombas

de riego. Se llevaron a cabo pruebas para verificar el funcionamiento del sistema en diferentes condiciones de humedad y temperatura del suelo, confirmando su eficacia y capacidad de adaptación.

En [21] se ha diseñado e implementado una red de sensores para monitorear los niveles de radiación solar en la ciudad de Loja, se destaca la utilización de sensores GUVAS12SD, Raspberry Pi 3B y una aplicación móvil desarrollada en Android Studio para llevar a cabo la medición y visualización de estos niveles. El proceso de adquisición de datos se realiza a través de sensores especializados, como el sensor GUVAS12SD, dedicados a monitorear los niveles de radiación solar. Estos sensores capturan la información y la envían a una unidad central, la Raspberry Pi, que actúa como concentrador de datos. Posteriormente, la Raspberry Pi recibe, procesa y almacena los datos provenientes de los sensores en una base de datos MySQL. Aquí se conservan los valores recopilados a lo largo del tiempo, permitiendo un almacenamiento histórico de los niveles de radiación solar. La conexión entre la base de datos MySQL y la aplicación móvil desarrollada en AndroidStudio permite el acceso a los datos almacenados en tiempo real. La aplicación móvil dispone de secciones específicas para presentar esta información, incluyendo gráficos o mapas que representan los niveles de radiación solar recopilados, tanto en tiempo real como los datos históricos. Para garantizar una actualización constante de los datos, la aplicación móvil ofrece una función de actualización periódica que muestra la información más reciente. Además, permite a los usuarios realizar consultas a la base de datos para acceder a detalles históricos o información detallada sobre los niveles de radiación solar. El proceso de adquisición y almacenamiento de datos implica la conversión de datos binarios a valores hexadecimales y luego a valores decimales antes de su almacenamiento en la base de datos. Este proceso de conversión asegura la adecuada representación y preservación de los datos recolectados. Se han llevado a cabo pruebas de adquisición de datos en diferentes nodos sensores a lo largo de varios días y en diversas condiciones climáticas para validar la efectividad y precisión del sistema.

En [19] se centra en el desarrollo de una aplicación móvil que utiliza tecnología NFC para gestionar datos de sensores de temperatura asociados a una Base de Datos en un servidor cloud de IoT. El objetivo principal es permitir a los usuarios visualizar y acceder a la información de temperatura de manera rápida y segura. El proceso comienza con la captación de información del mundo real mediante sensores de temperatura asociados a etiquetas NFC. Estos datos se almacenan y gestionan en un servidor dividido en dos secciones: una Base de Datos y un API REST desarrollado con Python y Flask. La aplicación móvil desarrollada en Android Studio se comunica con este servidor para acceder a la información almacenada y presentarla a los usuarios

de manera intuitiva. El acceso a la información varía según los roles de los usuarios. Los administradores tienen privilegios para realizar acciones específicas en la Base de Datos, mientras que los usuarios con roles de lectura únicamente pueden visualizar los datos. La lectura y escritura de datos en las etiquetas NFC permiten identificar sensores, registrar temperaturas y acceder al historial de registros. El sistema garantiza la seguridad mediante el uso de contraseñas y roles, asegurando que las acciones de modificación en la Base de Datos se realicen únicamente por usuarios autorizados. Además, se implementa una estrategia de actualización periódica del proyecto en Google Drive para preservar la integridad y continuidad del desarrollo de la aplicación. El TFG enfatiza la importancia de la tecnología NFC en el acceso rápido y seguro a datos, proporcionando una solución eficiente para el seguimiento y control de la temperatura ambiental a través de dispositivos móviles.

En [9], se implementó un sistema de riego inteligente basado en lógica difusa que utiliza Internet de las cosas, donde utilizaron la integración de varios sensores, incluyendo el sensor DHT11 para medir humedad y temperatura, además de otros sensores para monitorear diversos parámetros del campo agrícola en tiempo real. Estos datos se muestran en una pantalla LCD y se transmiten al usuario a través de tecnología GSM para facilitar el monitoreo remoto. La infraestructura hardware empleada en este sistema comprende un conjunto de sensores, como el sensor de humedad del suelo, sensor de temperatura, sensor de humedad, sensor de lluvia e incluso un sensor de imagen de hoja de planta. Todos estos sensores están conectados a un controlador Arduino, que actúa como nodo de dispositivo final. Este nodo coordina la recopilación continua de datos de los sensores y los transmite a un nodo coordinador, el cual está conectado al sistema del servidor web a través del bus de datos RS232. Un aspecto destacado es el uso de paneles solares para alimentar el sistema durante la disponibilidad de luz solar, lo que contribuye significativamente a reducir el consumo de energía. La tecnología GSM se emplea para la automatización, minimizando la necesidad de trabajo manual. Este enfoque sostenible a largo plazo permite el control automático del riego y la vigilancia de enfermedades de las plantas. En cuanto a las pruebas realizadas, el sistema fue evaluado comparativamente con métodos tradicionales de riego, como el riego por goteo e inundación manual. Los resultados obtenidos a partir de pruebas comparativas demostraron que el sistema propuesto supera en eficiencia a los métodos tradicionales de riego. En una comparación con el riego por goteo y el riego manual por inundación, el sistema de riego inteligente bombea agua en un período de 7 horas, mientras que los métodos tradicionales lo hacen en 12 y 20 horas respectivamente. Es decir que el sistema de riego inteligente utiliza el motor durante solo el 9,72% del tiempo total de riego, en comparación con el 16,67% y 27,78% utilizados por el riego por goteo y el riego manual

por inundación respectivamente.

En [16], se aborda el desarrollo de un sistema innovador de control de riego basado en la utilización de cuatro tipos de sensores: temperatura, intensidad de luz, humedad del suelo y humedad. Estos sensores desempeñan un papel fundamental en el monitoreo y control del proceso de riego en entornos agrícolas. El objetivo principal de este proyecto es mejorar la eficacia del riego a través de un enfoque que emplea el sistema ANFIS-PEGASIS en una red de sensores inalámbricos (WSN). El proceso de investigación implica la aplicación de un sistema de inferencia difusa (FIS) para la selección óptima de nodos coordinadores (CH) dentro de la red, tomando en cuenta factores como la energía residual y la distancia. Luego, se implementa el protocolo PEGASIS para la recolección eficiente de datos en el sistema de riego, estableciendo una cadena entre los nodos para transmitir la información a la estación base (BS). El enfoque ANFIS se utiliza para la toma de decisiones en el riego, activando automáticamente la bomba de agua y la lámpara según las condiciones detectadas por los sensores. El modelo ANFIS-PEGASIS inicia formando cadenas entre los nodos para la transmisión de datos en la red de sensores, y utiliza FIS para elegir el nodo óptimo como CH. Posteriormente, se inicia la recolección de datos, asegurando una conexión continua y una recolección eficiente incluso en situaciones donde algunos nodos puedan presentar fallas. Los sensores de humedad del suelo y la intensidad de luz, con sus respectivas funciones de pertenencia difusa, aportan datos esenciales para la toma de decisiones del sistema. ANFIS integra 81 reglas difusas para un sistema de riego automático, mapeando estas variables a la activación de la bomba de agua y la lámpara según las condiciones detectadas por los sensores. En términos de pruebas y resultados, se comparó el método ANFIS-PEGASIS con otras técnicas existentes. Se evaluaron parámetros como el rendimiento del retardo de extremo a extremo (E2ED), consumo de energía y rendimiento del sistema. Los resultados de la simulación demostraron que el método propuesto (ANFIS-PEGASIS) superó a otras técnicas existentes en términos de E2ED, rendimiento y sostenibilidad agrícola, proporcionando así una mayor eficacia en el control de riego.

En [?] presenta un sistema de riego inteligente diseñado para la región oriental de Marruecos. La recopilación de datos se lleva a cabo mediante sensores de temperatura, radiación solar y humedad del suelo ubicados estratégicamente en una región agrícola. Los sujetos involucrados incluyen sistemas de riego, condiciones climáticas y cultivos en la región. El proceso del sistema comienza con la adquisición en tiempo real de datos a través de una estación meteorológica y sensores de humedad del suelo conectados a las plantas. Estos datos son esenciales para la toma de decisiones en el sistema. Se implementa un controlador lógico difuso basado en reglas Mamdani que evalúa la

humedad del suelo, temperatura y radiación solar para determinar el tiempo óptimo de riego. La lógica difusa se despliega en tres módulos: Fuzzificación, Inferencia y Defuzzificación. La fuzzificación convierte las mediciones digitales de los sensores en variables lingüísticas basadas en funciones de membresía. El módulo de inferencia interpreta estos valores difusos y, mediante reglas si-entonces previamente definidas, asigna valores a la salida utilizando el método Mamdani. El proceso de defuzzificación transforma la salida difusa en una cantidad escalar, permitiendo decisiones precisas sobre el tiempo de riego necesario para mantener la humedad del suelo por encima del 30%. El sistema se implementa en una placa Arduino Uno R3, utilizando sensores analógicos y digitales para la adquisición de datos. El estudio incluye simulaciones con datos climáticos reales para validar el sistema y examinar su comportamiento en diferentes estaciones del año. Se selecciona un manzano como planta de prueba, y los resultados muestran que el sistema mantiene la humedad del suelo por encima del umbral deseado, eliminando el riesgo de riego insuficiente. El sistema se compara con otros métodos de riego mediante simulaciones, demostrando su eficiencia al consumir la menor cantidad de agua y garantizar condiciones ideales para el crecimiento de las plantas.

En [12] se centra en un sistema inteligente de riego basado en tecnología de control difuso e IoT para la conservación de agua y energía en la agricultura. Detalla un sistema de riego inteligente enfocado en maximizar la eficiencia hídrica y energética en la agricultura. Utiliza sensores de humedad del suelo y temperatura ambiental ubicados estratégicamente en zonas del invernadero. Estos sensores forman una red inalámbrica (WSN) que transmite datos a un servidor Node-RED para su procesamiento. El sistema se fundamenta en la tecnología de control difuso para tomar decisiones óptimas de riego. Además, cuenta con una interfaz de usuario desarrollada en Node-RED que facilita el control remoto y la visualización de datos. El proceso de este sistema implica la segmentación del campo en zonas, cada una equipada con nodos que incluyen sensores de humedad del suelo y válvulas solenoides para el riego. Estos datos se recopilan en un nodo central que los transmite a un procesador central (Raspberry Pi 3) donde se implementa un Controlador Lógico Difuso (FLC). Este FLC determina el tiempo óptimo de riego para cada zona basándose en condiciones del suelo y entorno. Las reglas difusas empleadas se extraen de conocimientos expertos y experiencias previas, permitiendo tomar decisiones inteligentes sobre el riego sin la necesidad de un modelo matemático preciso del suelo. El hardware utilizado incluye Arduino Nano, módulo nRF24L01p para comunicación inalámbrica, sensor DHT22 para medir la temperatura y una batería para la alimentación de los nodos. El sistema se asegura mediante medidas de seguridad en el editor Node-RED para prevenir accesos no autorizados. En las pruebas comparativas con otros tres métodos de riego, el

sistema propuesto demostró consumir la menor cantidad de agua y presentar ahorros significativos en el costo de producción. Se observó una reducción sustancial en el consumo energético y un control efectivo de la humedad del suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas. Se destacó un ahorro del 46,81% en el costo de producción en comparación con el primer método de riego, y ahorros aún más significativos en comparación con los otros dos métodos tradicionales. Este sistema inteligente de riego, al incorporar la irrigación por zonas, control difuso, comunicación inalámbrica y control remoto, demostró ser altamente efectivo, ofreciendo mejoras superiores al 80% en comparación con las estrategias de riego más comúnmente utilizadas.

En [15], se desarrolló un diseño de lógica difusa para controlar la duración del tiempo de riego en un invernadero. Este diseño emplea datos obtenidos a partir de sensores de humedad del suelo y el sensor DHT22 para monitorizar la humedad y temperatura, fundamentales en el proceso de riego en invernaderos. Los sujetos de estudio son los invernaderos mismos y las plantas que se riegan en este entorno. El objetivo central se centra en el diseño y la implementación de un controlador de lógica difusa (FLC) tipo Mamdani, integrado en una placa NodeMCU ESP8266. Este sistema utiliza los datos de los sensores como entrada para determinar la duración óptima del riego. La propuesta destaca por su conectividad IoT (Internet de las cosas), lo que se espera permita tomar decisiones precisas de riego y optimizar el uso del agua en invernaderos. El proceso de investigación se inicia con un análisis detallado de los problemas y requisitos del sistema, seguido por la recopilación de datos a través de investigaciones y literatura especializada. La fase de diseño describe el esquema y flujo de trabajo del sistema, y conlleva la implementación del hardware y la carga del programa según el diseño establecido. Las pruebas y evaluaciones posteriores comparan la lógica difusa en NodeMCU ESP8266 con el software MATLAB para validar su desempeño. La lógica difusa se estructura en etapas de fuzzificación, inferencia basada en reglas y defuzzificación para determinar la duración del riego a partir de la humedad y temperatura del suelo. Los valores de entrada se convierten en datos lingüísticos difusos, aplicando funciones de pertenencia difusas y reglas de conexión para determinar la duración óptima del riego. La implementación del sistema integra una puerta de enlace y nodos de sensores, donde la lectura y procesamiento de datos se realizan mediante lógica difusa en NodeMCU ESP8266, programada en lenguaje C con Arduino IDE. El artículo detalla los componentes de hardware empleados, entre los que se encuentran NodeMCU ESP8266, sensores de humedad del suelo, sensor DHT22, módulo TP4056, batería de ion de litio 18650, Raspberry Pi y cables jumper. Los resultados de las pruebas comparativas entre la lógica difusa basada en NodeMCU ESP8266 y la de MATLAB indican un error promedio del 0.59%. Esto sugiere que el controlador de lógica difusa con el método Mamdani integrado en

el NodeMCU ESP8266 ofrece una alta precisión para controlar la duración del riego en invernaderos.

En [7] se destaca una plataforma avanzada de gestión de recursos hídricos para agricultura que integra datos de temperatura, humedad y crecimiento de plantas mediante sensores y cámaras digitales. Esta plataforma emplea técnicas de procesamiento de imágenes digitales y lógica difusa para analizar la información de crecimiento de cultivos, evaluar la necesidad de riego y detectar la escasez de agua en las plantas. El proceso de adquisición de datos inicia con la detección precisa del suelo y su entorno mediante sensores especializados, como el sensor de humedad del suelo SM3002B y el sensor de temperatura y humedad del aire SHT30. Estos dispositivos capturan información en tiempo real sobre las condiciones del suelo y el ambiente de cultivo. Posteriormente, esta información se transmite de forma inalámbrica a un servidor central utilizando un protocolo específico para su procesamiento. El procesamiento central se lleva a cabo mediante microcontroladores como la microcomputadora de un solo chip modelo STC15F2K60S2 y el chip MSP430. Estos componentes realizan la conversión y procesamiento de los datos recolectados. Además, la plataforma cuenta con una pantalla LCD de 320 \* 240, que muestra información ambiental en tiempo real. Este sistema emplea algoritmos de control difuso y control PID para ajustar automáticamente el riego según la información recopilada. La alimentación de la plataforma se sustenta en energía solar, lo que garantiza su funcionamiento sostenible y minimiza su impacto ambiental. En relación con la estabilidad y confiabilidad de la red de comunicación, los autores realizaron un experimento que se enfoca en comparar las redes de transmisión punto a punto y las redes de múltiples saltos. Este estudio destaca la importancia de una adecuada distribución de nodos y la gestión de la distancia entre ellos para mantener una comunicación eficaz y estable. Estos resultados son fundamentales en sistemas de riego, donde la fiabilidad de la comunicación es esencial para el control efectiva del sistema.

En [6] presenta un sistema de control de riego basado en lógica difusa, destinado a optimizar la producción agrícola mediante el uso de datos meteorológicos y datos de sensores especializados, como sensores de humedad del suelo, temperatura y humedad. Este sistema se integra con sensores en robots móviles, datos meteorológicos y una aplicación móvil, los cuales monitorean constantemente variables clave como la humedad del suelo, la humedad y la temperatura. El proceso se inicia con la recopilación y envío de datos de estos sensores a un servidor en la nube. Estos datos se contrastan con una base de conocimientos previamente establecida sobre las necesidades específicas de distintos cultivos. Utilizando reglas difusas, el sistema



toma decisiones sobre el funcionamiento del motor del sistema de riego, basándose en las condiciones medidas por los sensores. Estas reglas son declaraciones lógicas que relacionan las entradas de los sensores con la activación o desactivación del motor, dependiendo de las necesidades hídricas del cultivo. El sistema se apoya en sensores como el DTH11 para la medición de temperatura y humedad, así como sensores de humedad del suelo. Además, utiliza hardware como Arduino Mega, controlador ICL2930 y microcontrolador ESP8266, capaz de comunicarse por WiFi, para el procesamiento y la comunicación de datos. La contribución principal de este estudio radica en el desarrollo de un sistema de riego inteligente que emplea robots terrestres equipados con estos sensores y un modelo de inferencia difusa para tomar decisiones sobre el motor del aspersor. La aplicación móvil proporciona visualización de parámetros del sensor y control remoto del sistema de riego, permitiendo al agricultor supervisar y en algunos casos influir en el proceso de toma de decisiones. Las pruebas realizadas para evaluar el sistema incluyeron diversos aspectos. Desde la evaluación de las reglas difusas hasta la precisión en la toma de decisiones para activar o desactivar el motor de riego en varios escenarios. De manera destacada, se logró una precisión del 97% en la toma de decisiones durante la evaluación, lo que significa que, de 1079 casos de prueba, el sistema de inferencia difusa evaluó correctamente la salida para 1046 muestras.

El estudio presentado en [14] se centra en el análisis de un sistema de riego inteligente basado en lógica difusa. Este análisis combina datos teóricos, mediciones reales y simulaciones computacionales. Utiliza el método de elementos finitos (FEM) para modelar la propagación del agua en el suelo, permitiendo simular la irrigación. Se evalúan múltiples variables como la temperatura ambiente, la humedad del suelo y la hora del día, las cuales controlan la intensidad del riego a través de un sistema de control lógico difuso (FLC). El proceso de investigación abarca la creación de modelos tanto teóricos como prácticos para comparar la eficiencia de los sistemas de riego convencionales con aquellos controlados por lógica difusa. Mediante un modelo 2D, se logra simular y comparar distintos sistemas de riego, facilitando la elección del más eficiente para suministrar agua a las raíces de las plantas con el menor consumo posible. El uso de un controlador de lógica difusa, basado en variables como temperatura, humedad del suelo y hora del día, permite determinar el tiempo y la cantidad óptima de riego. Las pruebas incluyen la ubicación de sensores de humedad del suelo a diferentes profundidades y su impacto en el consumo de agua. Se valida el modelo considerando el consumo de agua y el tiempo de riego para un tipo específico de planta (césped) con una profundidad de raíz determinada. Los resultados resaltan la eficiencia del controlador de lógica difusa en la gestión del riego, demostrando su capacidad para reducir el consumo de agua en la producción vegetal y contribuir a la gestión

sostenible de recursos hídricos limitados. Además, se realizaron pruebas comparativas entre sistemas de riego convencionales y aquellos controlados por lógica difusa bajo diversas condiciones y distribuciones de variables. En estas pruebas se observó que el sistema controlado por lógica difusa utilizó un 13% menos de agua en comparación con el sistema convencional. Sin embargo, en una simulación con distribuciones diferentes de variables, aunque con las mismas reglas, se notó un aumento considerable en el consumo de agua por parte del sistema controlado por lógica difusa.

En [20] se basa en el desarrollo de una aplicación móvil utilizando el framework Flutter para el monitoreo de humedad del suelo. Este sistema se complementa con un conjunto de sensores controlados por un microcontrolador ESP32 y hace uso de Firebase como base de datos en tiempo real. La arquitectura utilizada implica el uso de Flutter como framework principal para la creación de la aplicación móvil, permitiendo el desarrollo de interfaces intuitivas y la visualización de datos en tiempo real provenientes de sensores. El microcontrolador ESP32 se elige por su capacidad integral para manejar las necesidades del proyecto, incluyendo la adquisición de datos analógicos de los sensores de humedad. En cuanto a la base de datos y autenticación, Firebase es seleccionado por su capacidad de mantener operativa una base de datos en tiempo real las 24/7. Esto permite almacenar y gestionar los datos obtenidos por los sensores de manera eficiente y accesible. El proceso inicia con la adquisición de datos a través de sensores de humedad conectados al microcontrolador ESP32, que capturan información en tiempo real sobre las condiciones del suelo. Estos datos se transmiten a la base de datos en Firebase para su procesamiento y almacenamiento. La aplicación móvil desarrollada en Flutter permite a los usuarios visualizar esta información de manera intuitiva y tomar decisiones basadas en las necesidades específicas de cada cultivo. La arquitectura general del sistema comprende el uso de sensores conectados al microcontrolador ESP32 para la adquisición de datos, Firebase para el almacenamiento en la nube, y Flutter para la interfaz de usuario y visualización de datos en tiempo real. Este sistema busca proporcionar una solución integral para el monitoreo de humedad del suelo, permitiendo a agricultores, horticultores y entusiastas del cultivo acceder fácilmente a información valiosa para mejorar el cuidado de sus cultivos.

## **5.2 Marco teórico**

### **Vivero**

Un vivero es un espacio destinado a la producción y cuidado de plantas, especialmente para su venta. En estos lugares, se maneja una amplia gama de plantas, incluyendo ornamentales, forestales y frutales. Al revisar investigaciones previas, se nota que se mencionan sistemas de riego en entornos como invernaderos, granjas y otros lugares,

pero no específicamente en viveros. Sin embargo, el riego es esencial en los viveros para garantizar el crecimiento saludable de las plantas. Dado que los antecedentes no detallan la implementación de sistemas de riego en viveros, es crucial resaltar esta omisión.

### **Lógica difusa**

La lógica difusa es una técnica que se utiliza para la toma de decisiones con datos incompletos. Esta técnica se basa en el uso de grados de verdad, en lugar de la dicotomía verdadero o falso de la lógica clásica. En [9] se utilizó para calcular parámetros de entrada, como la humedad del suelo, la temperatura y los niveles de humedad, generando resultados que representaban el estado del motor.

### **Sistemas de control**

Son conjuntos de dispositivos mecánicos y/o electrónicos que regulan, administran y controlan otros dispositivos o sistemas mediante lazos de control. Estos sistemas se utilizan para proporcionar la respuesta deseada controlando la salida de un proceso. La lógica difusa tipo Mamdani se utilizó en [13] [15] para modelar sistemas difusos y tomar decisiones basadas en reglas lingüísticas, lo que la hace adecuada para sistemas en los que las entradas y salidas no son precisas. Por otro lado, el algoritmo PID (Proporcional Integral Derivativo) utilizado en [7] es un método de control de retroalimentación clásico que se utiliza para corregir errores o fluctuaciones en un sistema. Ambos tipos de algoritmos se utilizan en sistemas de control para mejorar el rendimiento y la precisión en el control de sistemas dinámicos.

### **Sensores de Humedad y Temperatura**

Los sensores de humedad y temperatura, como el DTH11, el DHT22 y el DS18B20, desempeñan el papel crucial de medir simultáneamente la humedad relativa y la temperatura en un entorno. Cada uno de estos sensores tiene sus propias características distintivas. Mientras que el DTH11 destaca por su costo económico y precisión aceptable, el DHT22 ofrece una mayor exactitud en las mediciones y un rango de operación más amplio. Por otro lado, el DS18B20 se destaca por su interfaz digital y su precisión en mediciones de temperatura. En [19], los sensores de humedad fueron elementos necesarios para obtener el acceso a los datos mediante la tecnología NFC.

### **Sensores de Humedad del suelo**

Los sensores de humedad del suelo son dispositivos diseñados para medir el contenido de humedad en la tierra. Entre los tipos de sensores comunes se encuentran el Módulo

HL 69, el SM3002B y el sensor YL-69. Cada uno posee particularidades distintivas que los diferencian en su aplicación. El Módulo HL 69 destaca por su versatilidad y capacidad para medir la humedad en diferentes tipos de suelo, ofreciendo una amplia gama de aplicaciones. Por otro lado, el SM3002B se caracteriza por su precisión en la medición y su resistencia a condiciones ambientales desfavorables. Por último, el sensor YL-69 es conocido por su sencillez y costo accesible, siendo una opción práctica para aplicaciones básicas de monitoreo de humedad en el suelo.

### **Sensores de Lluvia**

Un sensor de lluvia es un dispositivo diseñado para detectar la presencia o la intensidad de la lluvia. Entre los tipos comunes se encuentran el sensor de lluvia y el sensor de gota de lluvia YL-83. Estos sensores presentan características particulares que los diferencian. El sensor de lluvia referenciado en [9], se enfoca en utilizar métodos basados en lógica difusa para la detección y el análisis de la lluvia. Por otro lado, el sensor de gota de lluvia YL-83, mencionado en [17], se destaca por su capacidad para detectar gotas individuales de lluvia y su sensibilidad para medir la intensidad de la misma.

### **Microcontrolador**

Un microcontrolador es un chip que integra procesador, memoria y periféricos, utilizado para controlar operaciones en tiempo real. Entre ellos, el ESP8266 se destaca por su conectividad Wi-Fi, el STC15F2K60S2 ofrece control preciso, y el ESP32, más avanzado, no solo tiene potencia de procesamiento sino también soporte para Wi-Fi y Bluetooth. Además, en [20] el ESP32 se ha utilizado para recopilar datos de sensores, procesar la información y transferirla en tiempo real a una base de datos a través de Wi-Fi, aprovechando sus capacidades avanzadas para tareas simultáneas y conectividad inalámbrica.

### **Controlador**

Un controlador es un dispositivo electrónico diseñado para regular y dirigir el funcionamiento de otros componentes en un sistema. En el caso del ICL2930 utilizado en [5], se destaca por su capacidad para manejar motores, ofreciendo una interfaz eficiente y precisa para controlar la velocidad y dirección de motores DC.

### **Arduino**

Arduino es una plataforma de hardware de código abierto para proyectos electrónicos. Entre sus modelos, el Arduino Mega destaca por su mayor cantidad de pines, ideal para

proyectos complejos. El Arduino-UNO R3 es versátil y ampliamente utilizado, perfecto para aplicaciones estándar, mientras que el Arduino Nano ofrece funcionalidad en un formato compacto, ideal para proyectos con limitaciones de espacio.

### **Raspberry Pi**

El Raspberry Pi es una serie de miniordenadores de placa única desarrollados para promover la enseñanza de informática y la creación de proyectos de bajo costo. Entre los modelos de Raspberry Pi, el Raspberry Pi 3 es destacado por su rendimiento superior con un procesador más rápido y mejoras en la conectividad. Este modelo ha sido utilizado en diversos contextos, como se cita en [12] y [21].

### **Metodología Cascada**

La metodología en cascada es un enfoque secuencial y lineal para el desarrollo de software, donde cada fase del proyecto se completa antes de pasar a la siguiente. En [17], se utilizó para asegurar un proceso de desarrollo sistemático y ordenado. Esta metodología permite una planificación detallada, la estimación precisa de costos y plazos, y establece una secuencia lógica en las etapas de creación del sistema de riego automatizado. Cada etapa se ejecuta de manera secuencial, comenzando desde la definición de requisitos, pasando por el diseño, la implementación, pruebas y finalmente la entrega. Este enfoque permite una estructura clara y una gestión eficiente de cada fase del proyecto.

### **Metodología XP**

La metodología Extreme Programming (XP) es un enfoque ágil de desarrollo de software que se centra en la mejora continua, la adaptabilidad y la entrega rápida de software de alta calidad. XP se basa en una serie de prácticas y valores diseñados para maximizar la satisfacción del cliente y la eficiencia del equipo de desarrollo. Es relevante mencionar que, al revisar los antecedentes existentes, no se especifica la metodología utilizada en los proyectos previos. Dada la falta de información sobre las metodologías previas, se ha decidido adoptar la metodología XP para el desarrollo del presente proyecto.

### **Base de Datos**

Una base de datos es un sistema organizado para almacenar y gestionar datos de manera estructurada. Entre los tipos de bases de datos se encuentra la base de datos SQL. Entre sus tipos está la base de datos SQL, que utiliza el lenguaje SQL para administrar datos, como se evidencia en [10]. MySQL es un sistema de gestión de bases de datos

relacional ampliamente empleado en diversos sistemas, según lo señalado en [17] y [19]. Por último, Firebase que es una plataforma de Google, que proporciona servicios de base de datos en tiempo real, siendo utilizado para mantener una base de datos en tiempo real, como se menciona en [20], permitiendo la sincronización entre dispositivos y aplicaciones.

### **Tecnología NFC**

La tecnología NFC, conocida como Near Field Communication, se emplea por su habilidad para establecer conexiones entre dispositivos electrónicos de manera sencilla e intuitiva. En [7] cada sensor está asociado con una etiqueta NFC específica. Cuando un usuario requiere acceder al historial de temperaturas de un sensor en particular, simplemente necesita escanear la etiqueta NFC correspondiente usando esta tecnología. Esta forma de interacción simplifica el proceso de obtención de datos sensoriales, ya que la lectura de la etiqueta NFC relacionada con un sensor específico desencadena la recuperación de información directamente en la aplicación.

### **Arquitectura**

La arquitectura, en el contexto del desarrollo de software, se refiere a la estructura general y el diseño de un sistema o una aplicación. El Modelo-Vista-Controlador (MVC) es un patrón arquitectónico que organiza la lógica de una aplicación en tres componentes claves: el Modelo, que gestiona los datos y la lógica; la Vista, que maneja la presentación y la interfaz de usuario; y el Controlador, que actúa como intermediario y gestiona las interacciones entre el Modelo y la Vista. Al revisar los antecedentes existentes, no se encontró mención alguna sobre la arquitectura utilizada en los proyectos previos. Dada esta falta de información, se ha optado por la adopción del patrón MVC para la estructuración del proyecto.

### **Arduino IDE**

Arduino IDE (Integrated Development Environment) es un entorno de desarrollo integrado utilizado para programar placas de hardware Arduino. Es un software que proporciona todas las herramientas necesarias para escribir, compilar y cargar código en las placas Arduino. En [15] se utilizó para programar en lenguaje C el nodo sensor.

### **Matlab**

Es un software utilizado para cálculos numéricos, simulaciones y análisis de datos en campos como ingeniería y ciencias. En [15] se empleó MATLAB para evaluar y ajustar el rendimiento de la lógica difusa implementada en el dispositivo NodeMCU

ESP8266. Este software se utilizó en este contexto particular para realizar análisis y pruebas relacionadas con la lógica difusa en el mencionado dispositivo.

### **Flask**

Python es un lenguaje de programación interpretado, multiparadigma y multiplataforma, que ha ganado gran popularidad gracias a su legibilidad y su versatilidad en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el desarrollo web. Flask se ha usado en [6] ya que es un framework de aplicaciones web escrito en Python, que se destaca por su simplicidad y flexibilidad en la construcción de estas aplicaciones. La elección de Python en el desarrollo web se debe a su facilidad de uso, su amplia aceptación en la comunidad de desarrolladores y su capacidad para integrarse con otros lenguajes y herramientas. Además, la ligereza y facilidad de aprendizaje de Flask lo hacen ideal para un desarrollo ágil en el contexto de aplicaciones web.

### **Visual Studio Community**

es una versión gratuita y robusta del entorno de desarrollo integrado (IDE) de Microsoft, diseñado para desarrolladores que trabajan en aplicaciones web, móviles y de escritorio. Ofrece un conjunto de herramientas completo que incluye editores de código, depuradores, compiladores y más, facilitando la creación y el desarrollo de software en varios lenguajes de programación como C#, C++, Python, entre otros. En [17] permitió a los desarrolladores tener las herramientas necesarias para crear una aplicación consola. Esta aplicación fue especialmente diseñada para analizar los datos recolectados por el sistema automatizado de riego.

### **Aplicación Móvil**

Las aplicaciones móviles son soluciones diseñadas para proporcionar acceso a información y servicios a través de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas, como se menciona en [6]. Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) líder para aplicaciones Android, ya que ofrece herramientas que simplifican la creación y optimización de aplicaciones. En [19] se destaca su posición predominante en el desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo Android, convirtiéndose en la elección natural para proyectos de esta índole. Mientras que en Flutter es un marco de trabajo de código abierto desarrollado por Google. En [20] se optó por su capacidad para crear aplicaciones multiplataforma con un alto rendimiento, su facilidad de desarrollo, la capacidad de personalización de la interfaz de usuario y el respaldo de una sólida comunidad de desarrolladores.

Tras revisar diversos antecedentes, se destaca cómo la lógica difusa ha tenido un gran impacto al interpretar datos complejos, como la humedad, la temperatura y los niveles de humedad. Esta técnica resulta especialmente útil para representar estados en motores y sistemas difusos, sobre todo en situaciones donde los datos de entrada y salida no son precisos. Además, se ha observado un avance considerable en la precisión y diversidad de sensores, desde aquellos diseñados para medir la humedad del suelo, como el Módulo HL 69, SM3002B y el sensor YL-69, hasta sensores específicos para la lluvia, como el sensor de lluvia y el sensor de gota de lluvia YL-83.

A pesar de que los estudios revisados enfatizan la utilidad de la lógica difusa en sistemas y sensores, no profundizan en cómo se aplica directamente en el desarrollo de aplicaciones móviles. Sin embargo, su relevancia en la interpretación precisa de datos es crucial en el ámbito de las aplicaciones móviles, donde la exactitud en la interpretación de la información puede ser vital para su funcionamiento óptimo.

Es relevante destacar que, a pesar de la importancia que tiene el riego de agua en viveros para el cuidado de las plantas, los estudios revisados no abordan específicamente esta práctica en ese entorno. Esta falta de información resalta la necesidad de profundizar en la implementación de sistemas de riego en viveros, ya que desempeñan un papel crucial en el crecimiento sano y desarrollo de las plantas en estos espacios de producción.

## **6 Metodología**

En esta investigación, se utilizarán sensores de humedad del suelo, temperatura y humedad ambiental para recolectar datos esenciales sobre las condiciones del entorno. Estos datos serán transmitidos a un microcontrolador equipado con un módulo de lógica difusa. La lógica difusa desempeñará un papel importante en la toma de decisiones basadas en estos datos.

La lógica difusa se estructura en diversas fases: una interfaz de fuzzificación, que recibe la información proveniente de los sensores como entrada inicial; un mecanismo de inferencia, responsable de aplicar reglas lógicas; y una interfaz de defuzzificación, que determina si se debe activar o desactivar el riego, así como la duración de esta acción.

Si el sistema activa el riego, se utilizará una base de datos para almacenar estos datos, permitiendo un registro histórico de las decisiones tomadas. Además, se desarrollará una aplicación móvil que aprovechará una API para mostrar estos registros de la base de datos, ofreciendo una interfaz fácil de usar para revisar los datos y las decisiones del sistema.

Esta estructura de la lógica difusa y el manejo de datos se basará en la arquitectura MVC, que organiza la lógica de la aplicación en tres componentes clave: el Modelo,



que maneja la lógica de negocio y los datos; la Vista, que se encarga de la interfaz de usuario; y el Controlador, que gestiona las interacciones entre el Modelo y la Vista. Esta elección arquitectónica permitirá una mejor organización y mantenimiento del sistema.

Finalmente, se ha optado por la metodología XP (Extreme Programming) debido a su enfoque ágil, centrado en la entrega rápida de software de alta calidad y la adaptabilidad a medida que avanza el proyecto.

## **6.1 Modalidad de investigación**

En esta sección, se proporcionará una descripción detallada de las modalidades de investigación adoptadas para el proyecto. Se explicarán las razones de la elección de la modalidades específicas para el sistema de gestión de riego para el prototipo de vivero.

### **Investigación cuantitativa**

Este proyecto se basa en una modalidad de investigación cuantitativa que se centra en la recolección y análisis de datos numéricos para comprender y optimizar los parámetros de riego en viveros. Se enfocará en la medición precisa de variables como niveles de humedad, temperaturas y patrones de riego para establecer relaciones cuantificables que mejoren la gestión del agua.

### **Investigación experimental**

Se plantea una investigación de tipo experimental para este proyecto, ya que se busca evaluar la efectividad y la precisión del sistema de gestión de riego. Esto implica la realización de pruebas controladas en viveros, variando los niveles de riego de acuerdo con los datos obtenidos por la lógica difusa.

### **Investigación aplicada**

Se trata de una investigación aplicada, ya que se utilizarán los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para el desarrollo y ejecución de la propuesta. Esto implica la aplicación práctica de teorías, métodos y herramientas aprendidas en un entorno real para la creación del sistema de gestión de riego en el prototipo de vivero.

## **6.2 Población y muestra**

El vivero "Michita" es la población de estudio para este proyecto, caracterizado por su diversidad en tres categorías principales: plantas ornamentales, plantas frutales y plantas forestales. Esta variedad representa los diferentes tipos de cultivo y productos que el vivero maneja.

El proceso de selección de la muestra se realizará mediante un muestreo aleatorio simple por categoría. Esto implica tomar muestras representativas al azar de cada categoría dentro del vivero. Utilizando este método, se obtendrá un conjunto diverso y equitativo de muestras que reflejarán las características y variaciones dentro de cada grupo de plantas.

Dado que se trabajará con un prototipo en el vivero Michita, se considerará este muestreo como un primer acercamiento para evaluar la funcionalidad y eficacia del sistema de gestión de riego en cada una de las categorías, permitiendo así futuras adaptaciones y mejoras en el diseño del sistema.

### **6.3 Recolección de información**

La Recolección de Información se llevará a cabo a través de entrevistas con los responsables directos del Vivero Michita. Estas entrevistas estarán enfocadas en obtener una comprensión detallada de los métodos actuales de riego, las prácticas de gestión de agua, los desafíos enfrentados y las necesidades específicas del vivero.

Se utilizarán preguntas estructuradas para capturar información relevante sobre el consumo de agua por parte de las plantas, las condiciones ambientales y los procedimientos de cultivo. Las entrevistas se llevarán a cabo de manera individual con cada responsable, permitiendo una exploración exhaustiva de los distintos aspectos de la gestión del agua en el vivero.

Además, se utilizará un protocolo técnico diseñado para la adquisición de datos en el Vivero Michita, en el contexto del desarrollo de este prototipo, se ejecutará mediante una secuencia de pasos.

#### **Sensor de Humedad del Suelo**

Se ubicará a una profundidad de 12 centímetros en áreas representativas de cada categoría de plantas en el vivero Michita. Se dispondrá un sensor por cada categoría de plantas para capturar las variaciones específicas de humedad en sus respectivas áreas.

#### **Sensor de Temperatura y Humedad Ambiental**

Se instalarán a diferentes alturas en distintos sectores del vivero para registrar las variaciones de temperatura y humedad a lo largo del día. Se colocarán de manera estratégica para abarcar áreas representativas de las distintas categorías de plantas.

## **Consideraciones Especiales**

Se ajustará la disposición de los sensores conforme a las variaciones topográficas y ambientales presentes en el vivero Michita. Se realizarán mediciones piloto para validar la eficacia y precisión de la ubicación de los sensores antes de su despliegue definitivo.

### **6.4 Procesamiento y análisis de datos**

Este apartado se enfocará en cómo se manejarán y procesarán los datos obtenidos durante las entrevistas y a través del protocolo técnico, subrayando la importancia de una interpretación efectiva para mejorar la gestión del agua en el vivero.

#### **▪ Entrevista**

Las entrevistas al personal del vivero se enfocarán en recopilar información detallada sobre el proceso actual de riego por categoría de plantas. Cada entrevista se estructurará para indagar sobre los métodos y procedimientos utilizados para el riego, teniendo en cuenta las distintas especies de plantas. Se registrarán datos sobre frecuencia de riego, cantidad de agua utilizada, sistemas de control existentes y prácticas específicas empleadas para determinadas categorías de plantas.

#### **▪ Protocolo Técnico**

Los datos adquiridos mediante sensores especializados serán procesados y almacenados de manera eficiente. Estos datos se almacenarán en una base de datos diseñada específicamente para este propósito. Se aplicarán procesos de normalización y limpieza para garantizar la integridad y la calidad de los datos recopilados.

### **6.5 Propuesta de solución**

Se plantea el desarrollo de un prototipo de sistema de monitoreo y control para la gestión eficiente del consumo de agua en los cultivos de plantas del Vivero Michita, empleando la metodología de lógica difusa. Este sistema permitirá a los responsables del vivero supervisar y regular el riego de manera precisa y adaptativa, optimizando así el uso del recurso hídrico en las áreas de cultivo. Como se muestra en la Figura 1, el diagrama de procesos del sistema es fundamental para comprender su estructura.

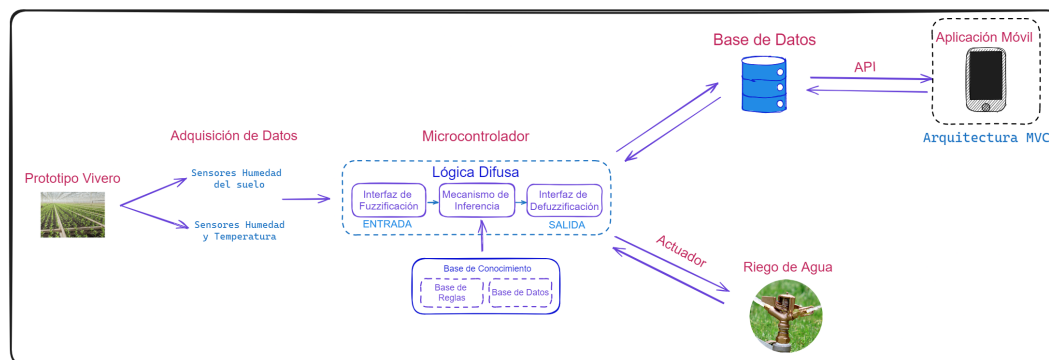


Figura 1: Procesos del sistema

### ▪ Viabilidad Técnica

El sistema se diseñará para operar con sensores especializados que monitoreen constantemente la humedad del suelo, las condiciones ambientales y otros parámetros relevantes para determinar las necesidades hídricas de las plantas. Estos datos se procesarán a través de un algoritmo basado en lógica difusa, que tomará decisiones de riego acordes a las condiciones específicas de cada cultivo.

### ▪ Viabilidad Económica

La implementación de este prototipo posibilitará una gestión más eficiente del riego, permitiendo que los responsables del vivero ajusten el suministro de agua de manera automatizada y precisa. Esto no solo mejorará la salud de las plantas al proporcionarles la cantidad óptima de agua, sino que también optimizará los procesos operativos al reducir la necesidad de supervisiones manuales frecuentes.

### ▪ Viabilidad Operacional

Desde el punto de vista económico, este prototipo representará una inversión que generará beneficios a largo plazo. La optimización del consumo de agua contribuirá a reducir los costos operativos del vivero, además de disminuir el desperdicio de recursos.

## 7 Bibliografía

- [1] Gestión del agua con fines agrícolas. Publisher: IAEA. [En línea]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/gestion-del-agua-con-fines-agricolas>
- [2] Temperatura y altitud por regiones, en ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://migrasegura.org/informacao/clima-geografia/>

- [3] C. N. C, E. P. Ch, S. Rosero, y B. Quishpe, “Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la sierra ecuatoriana,” vol. 5, no. 1, pp. 051–070, number: 1. [En línea]. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1427>
- [4] En ecuador, el riego tecnificado equivale a cultivos más sostenibles y mejor alimentación. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/07/14/en-ecuador-el-riego-tecnificado-equivale-a-cultivos-m-s-sostenibles-y-mejor-alimentaci-n>
- [5] M. F. Hasan, M. Mahbubul Haque, M. R. Khan, R. Ismat Ruhi, y A. Charkabarty, “Implementation of fuzzy logic in autonomous irrigation system for efficient use of water,” en *2018 Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2018 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR)*. IEEE, pp. 234–238. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8641017/>
- [6] “Fuzzy based irrigation control system for indian subcontinent,” vol. 82, no. 3. [En línea]. Disponible en: <http://op.niscpr.res.in/index.php/JSIR/article/view/71761>
- [7] Z. Haiyan y C. Yanhui, “Intelligent water resources management platform for precision irrigation agriculture based on internet of things.” [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s00521-022-07902-1>
- [8] M. S. Munir, I. S. Bajwa, y S. M. Cheema, “An intelligent and secure smart watering system using fuzzy logic and blockchain,” vol. 77, pp. 109–119. [En línea]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045790618328581>
- [9] R. S. Krishnan, E. G. Julie, Y. H. Robinson, S. Raja, R. Kumar, P. H. Thong, y L. H. Son, “Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things,” vol. 252, p. 119902. [En línea]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619347729>
- [10] A. Al-Ali, A. Al Nabulsi, S. Mukhopadhyay, M. S. Awal, S. Fernandes, y K. Ailabouni, “IoT-solar energy powered smart farm irrigation system,” vol. 17, no. 4, p. 100017. [En línea]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1674862X20300148>

- [11] R. Salazar, J. C. Rangel, C. Pinzón, y A. Rodríguez, “Irrigation system through intelligent agents implemented with arduino technology,” vol. 2, no. 3, pp. 29–36. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.usal.es/index.php/2255-2863/article/view/ADCAIJ2014262936>
- [12] H. Benyezza, M. Bouhedda, y S. Rebouh, “Zoning irrigation smart system based on fuzzy control technology and IoT for water and energy saving,” vol. 302, p. 127001. [En línea]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621012208>
- [13] B. Mohammed, H. Bekkay, A. Migan-Dubois, M. Adel, y A. Rabhi, “An intelligent irrigation system based on fuzzy logic control: A case study for moroccan oriental climate region.”
- [14] M. Neugebauer, C. Akdeniz, V. Demir, y H. Yurdem, “Fuzzy logic control for watering system,” vol. 13, no. 1, p. 18485. [En línea]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-45203-2>
- [15] D. K. Widyawati y A. Ambarwari, “Fuzzy logic design to control the duration of irrigation time in the greenhouse,” vol. 1012, no. 1, p. 012086. [En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1012/1/012086>
- [16] K. A. Kumar y K. Jayaraman, “Irrigation control system-data gathering in WSN using IOT,” vol. 33, no. 16, p. e4563. [En línea]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/dac.4563>
- [17] C. E. Alcívar Domínguez y C. A. Vallejo Aguilar, “Sistema automatizado de riego basado en sensorización en los cultivos de ciclo corto en el sector la pastora - cantón tosagua,” bachelorThesis, accepted: 2018-12-27T19:35:07Z. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espm.edu.ec/handle/42000/859>
- [18] I. M. Lema Holguín, “Implementación de un sistema automático de riego por goteo.” masterThesis, accepted: 2018-02-22T18:48:44Z. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8056>
- [19] V. Castillo Herrero. Desarrollo de una aplicación móvil segura para el acceso a un servidor cloud de datos IoT vía NFC. Place: Madrid, España Publisher: E.T.S. de Ingenieros Informáticos (UPM). [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/58135/>
- [20] V. Ramos Galindo, “Diseño de un sistema IoT de monitorización de humedad del suelo vía aplicación móvil,” Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado,

accepted: 2023-10-05T15:13:27Z Journal Abbreviation: Design of an IoT soil moisture monitoring system via mobile application. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/197732>

- [21] K. R. Orozco Jaramillo y J. Ordóñez Mendieta, “Diseño e implementación de una red de sensores para el monitoreo de los niveles de radiación solar en la ciudad de Loja,” vol. 10, no. 1, p. 44. [En línea]. Disponible en: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/maskay/article/view/1523>
- [22] C. G. Morcillo, “Técnicas de softcomputing.”