



Universidad Autónoma del Estado de México

Centro Universitario UAEM Valle de Chalco

**Impacto del internet de las cosas en la
Agricultura de Michoacán: Análisis de un
Sistema de Riego Automatizado**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN COMPUTACIÓN

P R E S E N T A

LÓPEZ ANGELES MARIO

ASESOR:

DR. FABIAN HERNÁNDEZ BECIEZ

Revisor: **DR. MANUEL ÁVILA AOKI**

Revisor: **MTRO. URIBE FLORES ROBERTO**

VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD, MÉXICO AGOSTO 2025.



CUVCH



Universidad Autónoma del Estado de México

**IMPACTO DEL INTERNET DE LAS COSAS EN LA
AGRICULTURA DE MICHOACÁN: ANÁLISIS DE UN
SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO**



Universidad Autónoma del Estado de México

ÍNDICE

I.	RESUMEN	1
II.	ANTECEDENTES	3
	2.1 Proyectos académicos similares	3
	2.3 Limitaciones de propuestas previas	6
	2.4 Aporte original del presente trabajo	6
	2.5 Justificación.....	8
III.	IMPORTANCIA DE LA TEMÁTICA	11
IV.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
V.	DESARROLLO TEMÁTICO	15
	5.1 Historia y evolución de los sistemas de riego	15
	Origen de riego agrícola.....	15
	Edad Media y aportaciones hidráulicas.....	16
	Revolución Industrial y mecanización del riego.....	16
	Avances del siglo XXI: agricultura de precisión.....	17
	Situación en México y Michoacán	18
	5.2 Tecnologías actuales aplicadas al riego inteligente	19
	5.2.1 Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura	19
	5.3 Implementación técnica del sistema de riego automatizado	23
	5.3.3.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	24
	5.3.2 Diagrama de flujo del funcionamiento lógico del sistema	26
	5.3.4 Conexiones físicas	29
	5.4 Manual de usuario del sistema de riego automatizado	34
	5.4.1 Propósito del sistema	34
	5.4.2 Requisitos para el usuario	34
	5.4.3 Interacción con el sistema	35
	5.4.4 Pasos para el uso cotidiano	35
	5.4.5 Mantenimiento básico para el usuario.....	36
	5.4.6 Accesibilidad	36
	5.5 Análisis técnico y económico de la viabilidad del sistema	37
	5.5.1 Viabilidad técnica	37
	5.5.2 Viabilidad económica	39



Universidad Autónoma del Estado de México

5.5.3 Viabilidad operativa y social	41
5.5.4 Reto para su adopción	41
5.5.6 Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	44
5.6 Casos similares y experiencias reales en México y Latinoamérica	45
5.6.1 Proyecto piloto de riego inteligente en Guanajuato, México.....	45
5.6.2 Experiencia de riego con sensores en Morelos.....	46
5.6.4 Proyecto “Riego Inteligente Comunitario” en Oaxaca	47
5.6.6 Conclusiones de los casos revisados.....	49
5.7 Desafíos del campo mexicano ante el cambio climático.....	50
5.7.1 Escasez de agua y sequías prolongadas.....	50
5.7.2 Prácticas agrícolas insostenibles	51
5.7.3 Deforestación y cambio de uso del suelo	51
5.7.4 Impacto socioeconómico en comunidades rurales.....	52
5.7.5 Urgencia de políticas públicas con enfoque sustentable.....	52
5.8 Formación tecnológica para el campo: educación rural y acceso a la innovación	53
5.8.1 Brecha digital en el medio rural mexicano.....	53
5.8.2 Educación tecnológica como herramienta de empoderamiento rural.....	54
5.8.3 Propuesta de integración con instituciones educativas y sociales	54
5.8.4 La democratización de la tecnología en el sector agrícola.....	55
5.9 Propuesta de escalabilidad del sistema: de una planta a un invernadero	55
5.9.1 ¿Qué implica escalar el sistema?.....	56
5.9.2 Diseño modular del sistema	56
5.9.3 Componentes necesarios para escalar	58
5.9.4 Visualización y control multiplanta.....	59
5.9.5 Uso de comunicación inalámbrica (LoRa o Wi-Fi Mesh).....	59
5.9.6 Costos estimados para escalar el sistema	60
5.9.7 Aplicaciones reales del sistema escalado	61
5.10 Aplicación del enfoque PMBOK en la gestión del proyecto	61
5.10.1 Justificación de la gestión por proyectos.....	62
5.10.3 Estructura del proyecto según PMBOK.....	63
5.10.4 Herramientas utilizadas en la gestión.....	64
5.10.5 Beneficios de aplicar PMBOK	64



Universidad Autónoma del Estado de México

5.10.6 Documentación del proyecto	65
VI. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN EMPLEADAS	66
VII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	70
7.1 Configuración del sistema prototipo.....	70
7.2 Simulación de condiciones reales	71
7.3 Interfaz en la nube: análisis funcional	72
7.4 Resultados técnicos	72
7.5 Análisis económico.....	73
7.6 Comparación con otras propuestas.....	73
7.7 Viabilidad social y operativa	74
7.8 Limitaciones del sistema	74
7.9 Propuestas de mejora y escalabilidad.....	75
7.10 Discusión crítica	76
7.11 Alineación con los ODS.....	77
7.12 Conclusión de resultados	77
VIII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	78
6.1 Conclusiones generales	78
6.2 Limitaciones detectadas.....	79
6.3 Sugerencias y propuestas futuras	79
6.4 Reflexión final.....	81
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
X. ANEXOS	86



Universidad Autónoma del Estado de México

I. RESUMEN

La actividad agraria en Michoacán, México, fomenta el desarrollo económico del estado. Sin embargo, es uno de los sectores que más sobreexplotación hace de los recursos hídricos disponibles. Michoacán provocó una crisis hídrica que se ha exacerbado en los últimos años debido a la deforestación, el cambio climático, la sobreexplotación de acuíferos, el cambio de uso del suelo y el crecimiento de cultivos dedicados al consumo, como el aguacate y varios frutos rojos que demandan grandes cantidades de agua. Estos problemas, sumados a las restricciones al agua en las zonas rurales, también merman las posibilidades de producción agrícola y empeora la situación social, económica y medioambiental en la región.

Como respuesta a estos retos, la presente tesina, “Impacto del Internet de las Cosas en la Agricultura de Michoacán: Análisis de un Sistema de Riego Automatizado”, se propone concebir y validar un riego inteligente apoyado en tecnología IoT. Mediante sensores de humedad, se desarrollará una herramienta capaz de moderar el uso del agua en el agro, dirigirse a las exigencias propias de cada parcela y, de paso, contribuir a la conservación del recurso hídrico. Enfrentando la necesidad apremiante de las y los agricultores de pequeña y mediana escala, el programa busca producir eficiencias en el riego que, a la larga, induzcan la sostenibilidad de los terrenos, el aumento del rendimiento productivo y la mejora de las condiciones socioeconómicas de las y los productores que cultivan la tierra en el estado de Michoacán.

Esta investigación parte de la evolución de las prácticas de irrigación desde las sociedades antiguas hasta las tecnologías actuales, abarcando desde acequias y qanats hasta sistemas de goteo de alta eficiencia, aspersión inteligente y control automatizado. Para caracterizar las dinámicas históricas y contemporáneas, se revisó un amplio corpus documental que incluye artículos revisados por pares, informes institucionales, estudios de campo y reportes de



Universidad Autónoma del Estado de México

agencias de noticias que estiman el efecto ecológico de los procedimientos convencionales y evalúan las oportunidades que ofrecen las tecnologías emergentes.

A partir de esta revisión, se elaboró un modelo conceptual de un sistema de irrigación automatizado que integra sensores de humedad de suelo conectados a una plataforma de monitoreo basada en IoT. Tal dispositivo captura en continuos datos de humedad y activa la irrigación solamente cuando se superan los umbrales establecidos. Se llevaron a cabo simulaciones digitales en un entorno virtual que reproduce las condiciones de cultivo tradicionales de las áreas mesetarias de humedad deficiente, como las que caracterizan a buena parte de Michoacán, para evaluar el desempeño del sistema y determinar su eficiencia hídrica y su medida de ahorro respecto a los métodos convencionales.

El análisis técnico y las simulaciones indican que un sistema de este tipo puede lograr una reducción de entre el 30% y el 50% en el consumo de agua en comparación con los métodos de riego tradicionales. Esta reducción es posible sin comprometer el desarrollo de los cultivos, ya que el sistema asegura que el agua se suministre a las plantas solo cuando realmente la requieren. Beneficios adicionales que incluyen la reducción de la compactación del suelo, el crecimiento lento de malezas y la reducción de los gastos de energía y mano de obra requeridos para el control del riego.

Finalmente, se concluye que el uso de sistemas de riego automatizados basados en sensores de humedad e IoT representa una herramienta clave para enfrentar los desafíos actuales del sector agrícola en Michoacán y otras regiones con problemáticas similares. Esta tecnología tiene el potencial de mejorar la eficiencia en el uso del agua, reducir el impacto ambiental de la actividad agrícola.



Universidad Autónoma del Estado de México

II. ANTECEDENTES

El desarrollo de sistemas de riego automatizados se ha consolidado como una estrategia clave donde se combinan la ingeniería, la tecnología y la agricultura, todo ello en un contexto de creciente escasez de agua a escala mundial. La FAO ha señalado de forma reiterada que la demanda de agua en las actividades agrícolas, que actualmente absorbe alrededor del 70 % de la disponibilidad de agua dulce, seguirá aumentando. Ante este escenario, la optimización del recurso hídrico a través de un control y monitoreo más precisos y sostenibles se ha convertido en una necesidad de primera magnitud.

Los avances tecnológicos de las dos últimas décadas, tales como sensores de humedad del suelo, plataformas en la nube, microcontroladores con conectividad Wi-Fi y aplicaciones móviles, han empoderado la creación de soluciones de riego automatizado que son, hoy en día, más asequibles y funcionales que nunca. Estos sistemas miden en tiempo real cuándo el perfil del suelo se encuentra por debajo de la capacidad óptima de humedad y, de forma automatizada, activan la bomba o la válvula correspondiente para iniciar el ciclo de riego. La información que genera el sistema es transmitida en tiempo real al usuario, ofreciendo así la posibilidad de ajustar el consumo de agua con base en datos precisos y contextuales. Esta capacidad de retroalimentación es útil tanto en pequeños huertos urbanos como en extensas parcelas de agricultura tecnificada.

2.1 Proyectos académicos similares

En México, varias instituciones de educación superior han creado prototipos que son bastante similares al que se presenta en esta tesina. Por ejemplo, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos diseñó un sistema de riego



Universidad Autónoma del Estado de México

automatizado utilizando Arduino UNO y sensores resistivos, enfocado en cultivos hortícolas en regiones de clima seco. Aunque el sistema es funcional.

Estos sensores mostraron un deterioro rápido debido a la corrosión, lo que llevó a la necesidad de investigar sensores capacitivos como una opción más duradera. Su informe final subrayó la importancia de adaptar la tecnología a las condiciones reales del campo, teniendo en cuenta factores como el tipo de suelo, la disponibilidad de energía y la facilidad de mantenimiento. (UAEM,2021).

Por otro lado, la Universidad de Guanajuato implementó en 2022 un sistema de riego en invernaderos de jitomate que incluía sensores de humedad, temperatura y conectividad a una plataforma web. Este proyecto logró reducir el consumo de agua en un 42%, demostrando el gran potencial del Internet de las Cosas (IoT) en entornos agrícolas tecnificados. Además, los estudiantes desarrollaron una interfaz sencilla que permitía a los productores monitorear las condiciones del cultivo desde sus teléfonos móviles. (Universidad de Guanajuato, 2022).

A nivel internacional, iniciativas como AgroSmart en Brasil han llevado soluciones similares a un nivel comercial, incluso integrando análisis predictivo basado en inteligencia artificial para mejorar la toma de decisiones en cultivos extensivos. En países como India, donde la agricultura de subsistencia es predominante, universidades técnicas han creado soluciones de bajo costo utilizando tecnologías locales, fomentando el uso de paneles solares, módulos GSM y plataformas SMS para controlar los sistemas de riego en áreas sin acceso a internet. (AgroSmart, 2022).



2.2 Tecnología aplicada en el riego inteligente

El componente central de los sistemas de riego supereficientes que se están desarrollando ahora mismo es el sensor de humedad del suelo. Dentro de esta categoría, encontramos sensores resistivos, capacitivos y tensiométricos, y la elección de uno u otro depende de las necesidades concretas. Los resistivos se caracterizan por su precio bajo, pero la corrosión en los electrodos limita su ciclo de vida. En cambio, los capacitivos prescinden de metal que quede en contacto permanente con el suelo, lo que les otorga una durabilidad marcada y les permite funcionar de forma constante en condiciones de humedad. Es esta ventaja la que los ha colocado en el centro de múltiples trabajos de investigación y de iniciativas impulsadas por comunidades rurales. (EOS Data Analytics, 2024).

Complementando al sensor, los microcontroladores han registrado una caída notable en el precio y una subida en las prestaciones, destacando el Arduino UNO, el NodeMCU y el ESP32. En esta lista, el ESP32 sobresale por múltiples razones: trae dos módulos Wi-Fi, es económico por su escasa demanda energética, procesa instrucciones rápidamente, y alberga abundantes pines de entrada y salida que se pueden agrupar en tareas que van desde la lectura del sensor de humedad hasta la operación de electroválvulas. Su recurso a bajo precio y su potencia razonable lo convierten en la plataforma de referencia para todo sistema de riego que apueste por la automatización.

El crecimiento de plataformas como Arduino IoT Cloud, Blynk, Thingspeak y Node-RED ha hecho posible que incluso aquellos sin experiencia en programación puedan visualizar y controlar sus dispositivos desde cualquier parte donde se encuentren. Estas herramientas ofrecen paneles de control muy intuitivos, con gráficos, botones y notificaciones que enriquecen la experiencia al usuario y simplifican el mantenimiento del sistema. (Arduino, s. f.).



2.3 Limitaciones de propuestas previas

Aunque estas soluciones han mostrado resultados positivos, muchas de ellas enfrentan obstáculos que complican su implementación en comunidades rurales, donde el acceso a tecnología, conocimientos técnicos y financiamiento puede ser escaso. Algunas de las principales barreras incluyen:

- Costos elevados de sensores o licencias de plataformas comerciales.
- Requerimiento de conocimientos técnicos avanzados para la instalación y el mantenimiento.
- Dependencia de una conexión a internet estable, que es poco común en áreas agrícolas remotas.
- Falta de materiales en español que sean claros o de fácil acceso para campesinos, ejidatarios o estudiantes.
- Ausencia de soporte técnico o capacitación adaptada a las realidades rurales.

Estas limitaciones han sido documentadas en varios estudios como el informe de InnovAgro(2021), que indica que mas del 60% de los proyectos de tecnología agrícola en comunidades rurales no logran tener éxito debido a la falta de acompañamiento técnico o materiales adecuados.(Sagrap & Bid, 2020).

2.4 Aporte original del presente trabajo

Esta tesina tiene como objetivo llenar ciertos vacíos mediante el diseño de un sistema de riego inteligente que cuente con las siguientes características:

- Es económico y fácil de replicar, utilizando componentes que se pueden conseguir sin problemas en el mercado local o en línea.



Universidad Autónoma del Estado de México

- Incorpora un sensor capacitivo de bajo mantenimiento, asegurando una larga vida útil.
- Funciona con un ESP32, un microcontrolador asequible que ya incluye conectividad, lo que elimina la necesidad de módulos adicionales.
- Permite el control a través de Arduino IoT Cloud, una plataforma gratuita y sencilla que facilita la visualización y el control remoto desde teléfonos móviles.
- Incluye documentación detallada paso a paso, con manuales ilustrados, diagramas de conexión, flujos lógicos y una interfaz amigable, diseñada para estudiantes, agricultores o entusiastas del IoT.

Este proyecto se basa en acciones concretas, asequibles y completas, pensadas para ser adoptadas en horas reales por pequeños agricultores, en formación o en comunidades decididas a avanzar en el campo de la agricultura sostenible. No se limita a la instalación de una herramienta tecnológica, sino que también se diseña una estrategia pedagógica que promueve la transmisión de saberes y la asimilación de la tecnología por los propios interesados.

Todo el esfuerzo se articula en torno a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, en especial el ODS 6 (que se enfoca en la disponibilidad y gestión sostenible del agua y en el saneamiento), el ODS 9 (que resalta la importancia de la innovación en infraestructura) y el ODS 12 (que promueve patrones de producción y consumo que no agraven los ecosistemas), subrayando así el encuadre pertinente que ofrece el proyecto en la actualidad. (ONU, 2021).



2.5 Justificación

Esta tesina tiene como objetivo abordar una necesidad urgente y creciente en el sector agrícola: optimizar el uso del agua a través de tecnologías accesibles y económicas. México, al igual que muchos países de América Latina, se enfrenta a una situación crítica en cuanto a la disponibilidad y distribución del agua, especialmente en áreas rurales o de difícil acceso. Esta problemática, sumada a prácticas de riego ineficientes, provoca un gran desperdicio de agua, reduce el rendimiento agrícola y, como resultado, impacta negativamente en la seguridad alimentaria y la economía local.

En este contexto, la implementación de un sistema de riego automatizado basado en la tecnología Internet of Things (IoT, por sus siglas en inglés) se presenta como una solución innovadora, viable y adaptable a diferentes entornos. Lo que hace único a este proyecto en comparación con otros similares es su enfoque en la simplicidad técnica, el bajo costo de implementación y la documentación educativa diseñada para usuarios sin experiencia previa en electrónica o programación. Esta combinación busca generar un impacto social real, especialmente en comunidades rurales, ejidos, instituciones educativas técnicas y centros de formación agrícola.

El sistema propuesto utiliza el microcontrolador ESP32, que cuenta con conectividad Wi-Fi, eliminando la necesidad de módulos adicionales que podrían encarecer o complicar el diseño. Mediante sensores de humedad del suelo de tipo capacitivo —que son más duraderos ante condiciones ambientales adversas— y una plataforma como Arduino IoT Cloud, se puede llevar a cabo un monitoreo constante del estado hídrico del cultivo, automatizando el encendido de una bomba de agua y enviando notificaciones al usuario a través de una aplicación móvil.



Universidad Autónoma del Estado de México

Además, desde un enfoque pedagógico y formativo, este proyecto actúa como un caso de estudio integral para desarrollar habilidades en electrónica básica, programación, redes inalámbricas, diseño de interfaces gráficas y sostenibilidad. La estructura modular y las explicaciones detalladas hacen de este recurso una herramienta educativa excepcional para las instituciones que desean implementar proyectos de impacto en sus programas.

La inclusión de manuales paso a paso, diagramas de conexión, flujos de funcionamiento, esquemas de bloques y capturas de pantalla de la plataforma garantiza que este desarrollo no se limite a un solo contexto. Puede ser replicado en otros cultivos, ampliado con nuevas funcionalidades (como control por voz, análisis predictivo del clima o integración con energías renovables), o adaptado para su uso en jardines urbanos, viveros escolares y huertos familiares.

Desde una perspectiva de desarrollo sostenible, el proyecto también apoya el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, especialmente en relación con el objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento), el objetivo 12 (Producción y consumo responsables) y el objetivo 13 (Acción por el clima). Al mejorar el uso del agua en la agricultura —que consume más del 70% del agua dulce disponible en el planeta— se promueve una gestión más inteligente, justa y ecológica de este recurso.

La justificación de esta propuesta se basa, por lo tanto, en tres ejes principales:

- **Tecnológico:** Se demuestra que es posible diseñar un sistema de riego funcional utilizando herramientas modernas y de bajo costo, aprovechando hardware abierto y plataformas gratuitas.



Universidad Autónoma del Estado de México

- Educativo: El desarrollo está enfocado en formar, capacitar y empoderar a estudiantes, docentes y productores rurales, facilitando la apropiación de tecnologías disruptivas a través de procesos de aprendizaje accesibles.
- Social y ambiental: El sistema busca tener un impacto positivo en comunidades vulnerables, reduciendo el desperdicio de agua, aumentando la eficiencia en el cultivo de alimentos y promoviendo una cultura de sostenibilidad.

En pocas palabras, esta tesina no es solo una solución técnica a un problema común, sino que se presenta como una herramienta transformadora que puede adaptarse, mejorarse y compartirse en diferentes contextos sociales y educativos. Su verdadero valor está en su simplicidad, facilidad de replicación y su capacidad para impulsar cambios positivos en la gestión de los recursos naturales desde un enfoque local y práctico.



Universidad Autónoma del Estado de México

III. IMPORTANCIA DE LA TEMÁTICA

El agua es, sin exagerar, la base de la vida. Sin ella, ni los seres humanos ni los animales podríamos sobrevivir. Y aunque es un recurso renovable, también es limitado. Lo curioso y preocupante es que gran parte de ella se consume en la agricultura: cerca del 70% del agua dulce se destina a esta actividad. Por eso, hoy más que nunca, su uso responsable y su ahorro dejaron de ser una opción para convertirse en una prioridad mundial. Esto se vuelve aún más evidente en lugares ambientalmente frágiles como Michoacán.

El texto *“Impacto del Internet de las Cosas en la Agricultura de Michoacán: Análisis de un Sistema de Riego Automatizado”* pone el foco en un problema que ya sentimos de cerca: la escasez de recursos naturales. El cambio climático y la creciente demanda de alimentos están presionando al campo, y Michoacán no es la excepción. Aquí, fenómenos como el auge de los monocultivos de aguacate, la deforestación, el cambio de uso de suelo y la falta de infraestructura adecuada para manejar y distribuir el agua hacen que la situación sea aún más complicada.

La buena noticia es que los avances en tecnología nos están dando nuevas herramientas para enfrentar este panorama. Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han abierto puertas impensables hace apenas unos años. El Internet de las Cosas (IoT), por ejemplo, permite conectar sensores y dispositivos a redes digitales, haciendo posible monitorear y controlar procesos en tiempo real. En la agricultura, esto significa que el riego puede automatizarse de forma inteligente: el agua se aplica únicamente cuando y donde hace falta, evitando desperdicios y, al mismo tiempo, aumentando la productividad.

Explorar cómo el IoT se aplica en sistemas de riego no solo busca optimizar el uso del agua. También abre paso a una verdadera transformación digital del campo mexicano. Este tipo de innovaciones sientan las bases para una



Universidad Autónoma del Estado de México

agricultura más sostenible, precisa y, sobre todo, adaptada a las condiciones climáticas que ya están cambiando. Y es que los efectos de la crisis hídrica son cada vez más visibles: cosechas más bajas, costos de producción más altos y pérdida de biodiversidad en zonas clave.

Desde el ámbito académico, este estudio representa un aporte fresco y multidisciplinario. Cruza campos tan diversos como la ingeniería en computación, los sistemas embebidos, las redes inalámbricas, la agricultura de precisión y la sostenibilidad ambiental. Además, impulsa el pensamiento crítico y fomenta la innovación tecnológica aplicada a problemas sociales muy reales.

Y desde la mirada social, los beneficios son igual de importantes. La adopción de sistemas de riego automatizados puede darle a pequeños y medianos productores herramientas accesibles para manejar sus cultivos con mayor eficiencia. Esto significa menos dependencia de las variaciones climáticas, mejores ingresos y, en consecuencia, más estabilidad en sus comunidades. Incluso puede ayudar a frenar la migración por falta de oportunidades, fortalecer la seguridad alimentaria y, al final, reforzar el tejido social en el campo.



Universidad Autónoma del Estado de México

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura en Michoacán vive una crisis que no es menor. Y es que gran parte del problema gira en torno al uso ineficiente del agua, ese recurso vital que sostiene la producción de alimentos, pero que cada vez resulta más escaso por distintas razones, tanto naturales como provocadas por el ser humano. La verdad es que la situación es preocupante: las lluvias se han reducido, los acuíferos se están sobreexplotando, la deforestación avanza de la mano de la expansión agrícola y, para colmo, muchos métodos de riego han quedado obsoletos.

Michoacán es conocido en todo el mundo por su aguacate, sus berries o frutos rojos y otros cultivos que han conquistado los mercados de exportación. Sin embargo, detrás de ese éxito también hay una realidad tensa: la agricultura intensiva choca de frente con la limitada disponibilidad de agua. Esto ha provocado que, mientras se desperdician enormes cantidades de este recurso en sistemas de riego ineficientes, muchas comunidades rurales tengan que enfrentarse a la escasez incluso para su propio consumo diario.

El problema radica en que los sistemas de riego tradicionales trabajan bajo esquemas demasiado rígidos, ya sea manuales o mecánicos, que reparten el agua de forma uniforme y en intervalos fijos. El detalle es que no toman en cuenta algo esencial: la variabilidad de las condiciones ambientales y las necesidades específicas de cada planta o de cada franja de cultivo. Como consecuencia, el agua se pierde por evaporación, escurrimiento o saturación del suelo. Y eso no solo disminuye la eficiencia del riego, también afecta la calidad de los cultivos y altera el equilibrio ecológico de la zona.

Frente a este panorama, se vuelve urgente pensar en nuevas formas de gestionar el riego. Aquí es donde entran las tecnologías modernas. El uso de sensores de humedad conectados mediante el Internet de las Cosas (IoT) abre



Universidad Autónoma del Estado de México

la posibilidad de monitorear el suelo en tiempo real y activar el riego únicamente cuando hace falta. Además, permite ajustar la cantidad de agua de acuerdo con las condiciones específicas del terreno y del clima. Claro, no todo es tan sencillo: todavía existen dudas sobre la viabilidad técnica y económica de implementar estos sistemas, sobre todo en áreas rurales donde los recursos suelen ser limitados.

Por ello, esta investigación busca analizar a fondo la viabilidad de un sistema de riego automatizado que combine sensores de humedad con conectividad IoT para optimizar el uso del agua en la agricultura michoacana. A partir de este gran reto, surgen las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo puede un sistema de riego automatizado mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura?

¿De qué manera la incorporación de sensores de humedad en un sistema de riego inteligente puede reducir el desperdicio de agua sin afectar el rendimiento de los cultivos?

¿Es técnica y económicamente viable implementar un sistema de riego basado en IoT en explotaciones agrícolas de pequeña y mediana escala en Michoacán?

¿Qué impacto potencial se anticipa según la literatura y el diseño del presente proyecto en comunidades con escasez hídrica?

Estas interrogantes orientan el desarrollo de la presente tesina y permiten establecer una ruta de análisis que integra aspectos tecnológicos, económicos, sociales y ambientales con el objetivo de proponer soluciones concretas y aplicables a la realidad agrícola de la región.



Universidad Autónoma del Estado de México

V. DESARROLLO TEMÁTICO

5.1 Historia y evolución de los sistemas de riego

Origen de riego agrícola

El riego ha sido un compañero inseparable de la agricultura desde sus inicios, hace más de 8,000 años. Las primeras civilizaciones agrícolas florecieron en regiones donde se podía controlar el agua para cultivar en áreas áridas o con lluvias estacionales. Por ejemplo, los sumerios y babilonios construyeron intrincadas redes de canales en la antigua Mesopotamia para desviar el agua de los ríos Tigris y Éufrates hacia sus campos. Estos canales eran cruciales para mantener los cultivos durante las sequías, asegurando así la supervivencia de las ciudades.

En Egipto, el río Nilo se aprovechó a través de sistemas de diques, represas y canales que seguían los ciclos de crecida del río. Con el tiempo, el uso de norias (ruedas hidráulicas) para elevar el agua se extendió a India, China y el norte de África. Aunque estas primeras tecnologías eran bastante simples, sentaron las bases de lo que hoy conocemos como gestión hídrica agrícola. (Martinez,2010).

Si se implementa un sistema de riego automatizado basado en sensores de humedad e Internet de las Cosas (IoT) en ambientes de baja humedad, entonces se optimizará el uso del agua en la agricultura, mejorando la eficiencia del riego y reduciendo el desperdicio del recurso hídrico. Esto contribuirá a disminuir los costos operativos y fomentar la sostenibilidad ambiental, garantizando un riego más preciso y oportuno, lo que generará un entorno agrícola más eficiente, responsable y sustentable.



Edad Media y aportaciones hidráulicas

Durante la Edad Media, las civilizaciones islámicas dieron pasos enormes en el desarrollo de los sistemas de riego. En regiones como Al-Ándalus lo que hoy conocemos como España no solo se perfeccionaron acueductos y acequias, sino que también se impulsaron ideas de justicia en la distribución del agua. Un ejemplo claro es el famoso Tribunal de las Aguas de Valencia, que hasta hoy sigue siendo símbolo de organización comunitaria. Además, se extendió el uso de albercas, que funcionaban como depósitos, y de norias movidas por animales, ingenios que en su momento parecían casi mágicos por la forma en que facilitaban la vida diaria.

Mientras tanto, en América, mucho antes de la llegada de los colonizadores, culturas como los mayas, aztecas e incas ya habían desarrollado métodos sorprendentes para manejar el agua. Los incas, en particular, diseñaron terrazas agrícolas conectadas por canales que captaban y distribuían el agua de lluvia de manera controlada. Lo fascinante es que, siglos después, esa técnica sigue siendo estudiada por su eficiencia ecológica y por la sabiduría que encierra en cuanto al cuidado del entorno. (Martínez, 2010)

Revolución Industrial y mecanización del riego

El siglo XIX marcó un verdadero punto de quiebre en la historia de la agricultura con la llegada de la mecanización. La introducción de las bombas hidráulicas de vapor y más tarde las eléctricas hizo posible algo impensable hasta entonces: extraer agua de pozos profundos y distribuirla con mayor presión. Gracias a ello,



Universidad Autónoma del Estado de México

no solo se ampliaron las zonas cultivables, también se logró un aumento notable en la productividad de las tierras (Martínez, 2010).

En ese mismo periodo comenzaron a instalarse tuberías y aspersores que aseguraban una distribución mucho más uniforme del agua. Y ya en el siglo XX, la innovación no se detuvo: aparecieron los primeros sistemas de riego por aspersión y por goteo. Estos representaron un avance enorme frente a los antiguos métodos de inundación, que desperdiciaban agua a causa de la evaporación y el escurrimiento (Martínez, 2010).

El riego por goteo, en particular, se convirtió en una revolución silenciosa. Desarrollado en Israel en la década de los sesenta, se consolidó como la técnica más eficiente para la agricultura moderna. ¿La razón? Permite que el agua llegue justo donde importa: a la zona de raíces de cada planta. Con ello se minimiza el desperdicio y, al mismo tiempo, se fortalece la salud de los cultivos.

Avances del siglo XXI: agricultura de precisión

En las últimas dos décadas, los sistemas de riego han adoptado nuevas tecnologías digitales que han dado paso a lo que hoy conocemos como agricultura de precisión. Esta nueva fase busca optimizar todos los recursos agrícolas, como el agua, los fertilizantes y la mano de obra, a través de la integración de herramientas tecnológicas como sensores, drones, GPS, sistemas de información geográfica (SIG) y plataformas de gestión digital.

En el ámbito del riego, la llegada de los sensores de humedad del suelo ha sido clave. Estos dispositivos permiten conocer en tiempo real las condiciones hídricas del terreno, lo que ayuda a tomar decisiones informadas sobre cuándo y cuánto regar. Además, al integrarse con sistemas automatizados mediante



Universidad Autónoma del Estado de México

microcontroladores como Arduino o ESP32, el riego puede activarse de manera autónoma, sin necesidad de intervención humana.

Con la llegada del Internet de las Cosas (IoT), estos sensores pueden enviar datos a la nube, donde se pueden consultar desde un celular o una computadora. Esto ha transformado la forma en que los agricultores monitorean y controlan sus cultivos, permitiendo ahorrar agua, reducir costos y aumentar el rendimiento.

Situación en México y Michoacán

En México, la verdad es que los sistemas de riego tradicionales todavía son los más usados en muchas regiones. El problema es que, según datos de la CONAGUA, más de la mitad del agua destinada al riego se pierde por fugas, evaporación o simplemente por prácticas poco eficientes. Gran parte de esto tiene que ver con técnicas como la inundación, que siguen siendo comunes, pero también con la falta de inversión en tecnologías modernas que podrían marcar una gran diferencia.

En Michoacán, la situación se vuelve todavía más crítica. La expansión acelerada de cultivos como el aguacate y las berries ha disparado la demanda de agua, y eso ha dejado consecuencias visibles. Muchas comunidades purépechas y rurales padecen la sobreexplotación de pozos y manantiales, un hecho que no solo afecta al ambiente, sino que también genera tensiones sociales cada vez más fuertes.

En medio de este panorama, los sistemas de riego automatizados con sensores de humedad se presentan como una oportunidad real y esperanzadora. Permiten usar el agua de forma más inteligente, reduciendo el desperdicio y



Universidad Autónoma del Estado de México

asegurando que la producción agrícola continúe sin poner en riesgo un recurso tan vital como el agua (CONAGUA, 2023).

5.2 Tecnologías actuales aplicadas al riego inteligente

La transformación tecnológica en la agricultura se ha convertido en uno de los grandes pilares para garantizar una producción de alimentos sostenible y eficiente. Y es que, cuando hablamos de riego, los avances son realmente impresionantes. La incorporación de sensores, microcontroladores, conectividad inalámbrica e incluso inteligencia artificial ha dado vida a lo que hoy conocemos como sistemas de riego inteligente o automatizado.

La verdad es que estas tecnologías no solo buscan modernizar el campo por modernizarlo. Su meta principal es mucho más concreta: aprovechar el agua de manera más eficiente, aumentar la productividad de los cultivos y, al mismo tiempo, reducir el impacto ambiental. Todo esto las convierte en aliadas indispensables frente a los enormes desafíos del siglo XXI: el cambio climático, la creciente escasez de agua y, por supuesto, el aumento constante de la población mundial.

5.2.1 Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se refiere a la conexión de dispositivos físicos a través de Internet, lo que les permite recoger, compartir y analizar datos en tiempo real. En el ámbito agrícola, esto significa que sensores de humedad, temperatura, nivel de agua, pH o radiación solar pueden conectarse a una red y enviar información a una plataforma central.



Universidad Autónoma del Estado de México

En un sistema de riego, el IoT ofrece:

- Monitoreo remoto: el agricultor puede conocer las condiciones del suelo y del cultivo desde cualquier lugar usando su celular o computadora.
- Activación automática: el sistema puede encender o apagar la bomba de riego según la humedad detectada.
- Historial de datos: se puede almacenar y analizar información para identificar patrones o mejorar decisiones futuras.
- Alertas: en caso de condiciones críticas (muy seco o muy húmedo), se puede enviar una notificación al usuario.

El IoT transforma el riego en un sistema proactivo, no reactivo, asegurando que el agua se utilice solo cuando realmente se necesita.

5.2.2 Sensores de humedad del suelo

Uno de los elementos clave en el riego inteligente son los sensores de humedad del suelo. Estos dispositivos nos permiten saber en tiempo real cuánta agua hay en el sustrato, ayudando a decidir si es necesario regar o no. Hay varios tipos de sensores:

- Resistivos (como el YL-69 o el FC-28): miden la conductividad entre dos varillas metálicas. Son bastante económicos, pero tienden a corroerse con facilidad.
- Capacitivos (por ejemplo, el V1.2): no tienen contacto directo con el agua, lo que les ayuda a evitar la corrosión. Ofrecen una mayor durabilidad y buena precisión.



Universidad Autónoma del Estado de México

- Sensores digitales I2C (como el Adafruit STEMMA Soil Sensor): miden tanto la humedad como la temperatura, son muy precisos y se comunican a través de un protocolo digital.
- Tensiométricos: se utilizan en la agricultura profesional. Miden la tensión con la que el agua es retenida por el suelo y requieren componentes adicionales, como amplificadores.

En este proyecto, se evaluaron diferentes modelos y se optó por el sensor capacitivo V1.2, gracias a su durabilidad, bajo costo, compatibilidad con plataformas como Arduino y ESP32, y su resistencia a la corrosión. Esta elección resultó ser ideal para un sistema confiable en entornos rurales con recursos limitados.

5.2.3 Microcontroladores: ESP32 vs Arduino R4

El microcontrolador es el “cerebro” del sistema. Su función es leer los datos del sensor y tomar decisiones, como activar o detener el riego. Se evaluaron dos opciones principales:

- Arduino R4: Aunque es una opción común, tiene limitaciones en cuanto a conectividad. No es compatible de forma nativa con Wi-Fi, lo cual representa un problema si se desea implementar un sistema IoT.
- ESP32: Es un microcontrolador más potente, con Wi-Fi y Bluetooth integrados, mayor velocidad de procesamiento y más memoria. Es ideal para sistemas IoT y se integra fácilmente con plataformas como Arduino Cloud, Blynk, Thingspeak, entre otras.

Por estas razones, se optó por usar ESP32 como la base del sistema, ya que permite enviar datos a la nube, monitorear el estado del cultivo desde una



Universidad Autónoma del Estado de México

app móvil y activar el sistema a distancia. Esta elección resultó fundamental para lograr un proyecto funcional y accesible.

5.2.4 Plataformas IoT de monitoreo y control

Para visualizar y controlar el sistema, se integró la plataforma Arduino IoT Cloud, la cual permite:

- Configurar variables como humedad y estado del relevador.
- Ver gráficas de la humedad del suelo en tiempo real.
- Activar o apagar la bomba desde un botón virtual.
- Mostrar información descriptiva de cada planta y su imagen.
- Recibir datos desde sensores conectados al ESP32 vía Wi-Fi.

El uso de esta plataforma demuestra que es posible construir soluciones de agricultura de precisión usando herramientas accesibles, sin necesidad de infraestructura costosa o especializada.

5.2.5 Aplicaciones móviles y accesibilidad

Una de las grandes ventajas del sistema desarrollado es que el usuario puede controlarlo desde cualquier lugar usando un celular. A través de la app de Arduino Cloud, se puede:

- Observar los niveles actuales de humedad.



Universidad Autónoma del Estado de México

- Encender o apagar la bomba con un solo clic.
- Ver una gráfica con el historial de riego.
- Cargar imágenes y notas sobre el tipo de planta.

Este enfoque centrado en el usuario busca reducir la complejidad técnica y facilitar la adopción de la tecnología por parte de agricultores no especializados o estudiantes.

5.3 Implementación técnica del sistema de riego automatizado

Como parte central de esta investigación, se desarrolló un sistema de riego automatizado e inteligente capaz de administrar el suministro de agua a una planta tomando en cuenta algo esencial: los niveles reales de humedad en el suelo. La verdad es que la idea fue aprovechar recursos accesibles, pero sin sacrificar confiabilidad. Para ello, se incorporaron sensores precisos y se trabajó con plataformas modernas como el ESP32 y Arduino IoT Cloud.

El proceso de implementación no fue inmediato, sino que se construyó paso a paso. Primero, se seleccionaron cuidadosamente los componentes, después vino el armado físico, seguido de la programación, las pruebas, los ajustes necesarios y, finalmente, el despliegue en un entorno de simulación. Cada etapa aportó aprendizajes valiosos y permitió darle forma a un sistema funcional y adaptable.

5.3.1 Componentes del sistema

El sistema se construyó utilizando los siguientes componentes:



Universidad Autónoma del Estado de México

- Microcontrolador ESP32

Elegido por su rapidez, conectividad Wi-Fi y su capacidad para integrarse con plataformas en la nube.

- Sensor de humedad Capacitivo V1.2

Seleccionado por su resistencia a la corrosión, su bajo costo y la facilidad para realizar lecturas analógicas.

- Bomba de agua de 12V

Se activa para regar la planta cuando los niveles de humedad lo requieren.

- Módulo de relé 10-18V

Controla el encendido y apagado de la bomba mediante una señal digital proveniente del ESP32.

- Sensores de movimiento PIR

Permiten activar o desactivar la bomba simplemente moviendo la mano cerca del sensor.

- Fuente de energía regulada (12V, 2A)

Para alimentar tanto la bomba como el sistema de control.

- Cables de conexión y protoboard

Facilitan el ensamblaje del circuito sin necesidad de soldaduras permanentes.

5.3.3.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema

A continuación, se muestra el diagrama 1.1 proceso del sistema de riego IoT, Este diagrama resume el ciclo lógico que va desde la detección de baja humedad



Universidad Autónoma del Estado de México

en el suelo hasta la activación automática del riego. Además, incluye la retroalimentación que se envía al usuario a través de la plataforma IoT.

1.1 proceso del sistema de riego IoT



Elaboración propia.

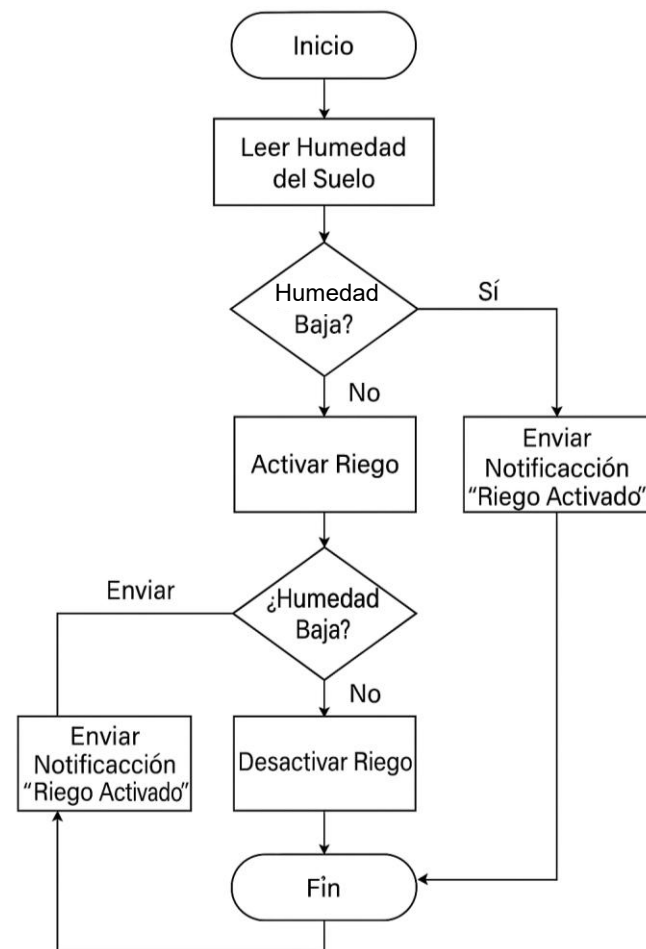
Este diagrama facilita el entendimiento del funcionamiento completo del sistema y puede ser utilizado como material de apoyo para capacitaciones, manuales o presentación del proyecto ante instituciones.



5.3.2 Diagrama de flujo del funcionamiento lógico del sistema

A continuación, se presenta el diagrama de flujo 1.2 del funcionamiento del sistema que ilustra cómo funciona internamente el sistema de riego automatizado. Este diagrama detalla el proceso que sigue el sistema, desde la lectura de la humedad del suelo hasta la toma de decisiones basada en el nivel detectado.

1.2 Proceso de funcionamiento del sistema



Elaboración propia.



Universidad Autónoma del Estado de México

El proceso arranca con algo muy sencillo pero crucial: medir la humedad del suelo. Si el sistema detecta que el nivel es bajo, de inmediato activa el riego de manera automática y, además, le avisa al usuario con una notificación para que sepa que el ciclo ha comenzado. A partir de ahí, el monitoreo no se detiene. El sistema sigue evaluando la humedad y, en cuanto alcanza un nivel adecuado, corta el riego y da por terminado el ciclo.

Ahora bien, si desde un inicio la humedad resulta suficiente, el sistema no se complica: simplemente envía una notificación al usuario y evita un riego innecesario. Esto no solo ahorra agua, también aporta tranquilidad al saber que el cultivo está recibiendo justo lo que necesita.

El diagrama que acompaña esta explicación resulta muy útil para visualizar el flujo lógico que sigue el sistema según las condiciones del suelo. De hecho, puede emplearse como material de apoyo en capacitaciones técnicas, manuales de operación o incluso presentaciones institucionales.

Eso sí, vale la pena aclarar un punto importante: este prototipo está pensado para un entorno de pequeña escala. Por esa razón no se consideró el efecto de retardo físico o la llamada “inercia” del sistema. Sin embargo, en aplicaciones de mayor alcance o en una implementación real en campo, este aspecto debe tomarse en cuenta para evitar riegos prematuros o ciclos que se prolonguen más de lo necesario.

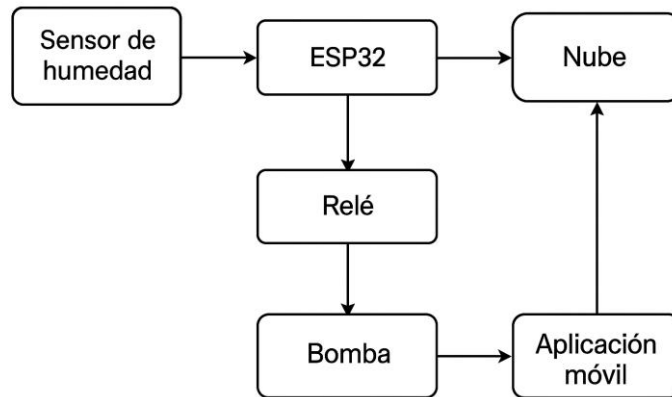
5.3.3 Diagrama de bloques del sistema IoT de riego

Aquí tenemos un diagrama de bloques que ilustra la arquitectura de un sistema de riego que utiliza tecnología IoT. Este esquema nos ayuda a ver de manera sencilla los componentes físicos y lógicos clave que participan en la automatización del riego, así como las conexiones entre ellos.



Universidad Autónoma del Estado de México

1.3 Diagrama de bloques IoT



Elaboración propia.

Todo arranca con un pequeño sensor de humedad que se encarga de “sentir” qué tan seco o húmedo está el suelo. Esa información viaja directo al ESP32, que actúa como el cerebro del sistema. Ahí es donde ocurre la parte interesante: analiza los datos y decide si la planta necesita agua o si puede esperar un poco más.

Cuando la respuesta es “sí, hace falta regar”, el ESP32 manda una señal al módulo relé, que básicamente abre el paso de corriente hacia la bomba de agua. En ese momento, el riego comienza de manera automática y el cultivo recibe justo lo que necesita.

Además, el ESP32 no trabaja solo. Se conecta a la nube y almacena toda la información, lo que permite consultarla en cualquier momento desde una aplicación móvil. Desde ahí no solo se puede ver lo que está ocurriendo en tiempo real, sino también monitorear y hasta controlar el sistema de manera remota, lo que da muchísima tranquilidad.

Por último, el diagrama de bloques resulta clave para visualizar todo este proceso. Es una herramienta práctica que facilita entender cómo funciona el sistema, y la verdad es que se vuelve indispensable en etapas como el diseño,



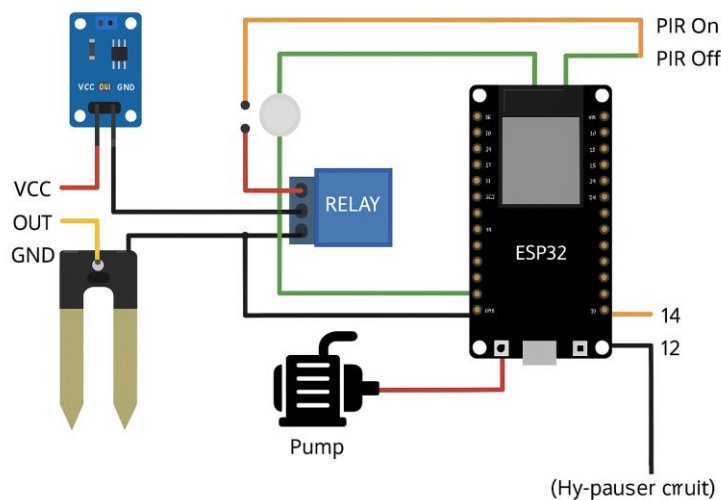
Universidad Autónoma del Estado de México

la documentación técnica o incluso cuando toca presentar el proyecto a otras personas.

5.3.4 Conexiones físicas

Las conexiones del sistema de riego automatizado se realizaron siguiendo el siguiente esquema de conexión:

1.4 Esquema de conexión aplicativo



Elaboración propia.

- **VCC** del sensor de humedad → pin de **3.3V** del ESP32.
- **GND** del sensor → **GND** del ESP32.
- **Pin de señal** del sensor → **A0** del ESP32.
- **Módulo de relé** → pin **14** del ESP32.
- **PIR de encendido** → pin **13** del ESP32.
- **PIR de apagado** → pin **12** del ESP32.
- **Bomba de agua** conectada al **relé** (en circuito de potencia).



Universidad Autónoma del Estado de México

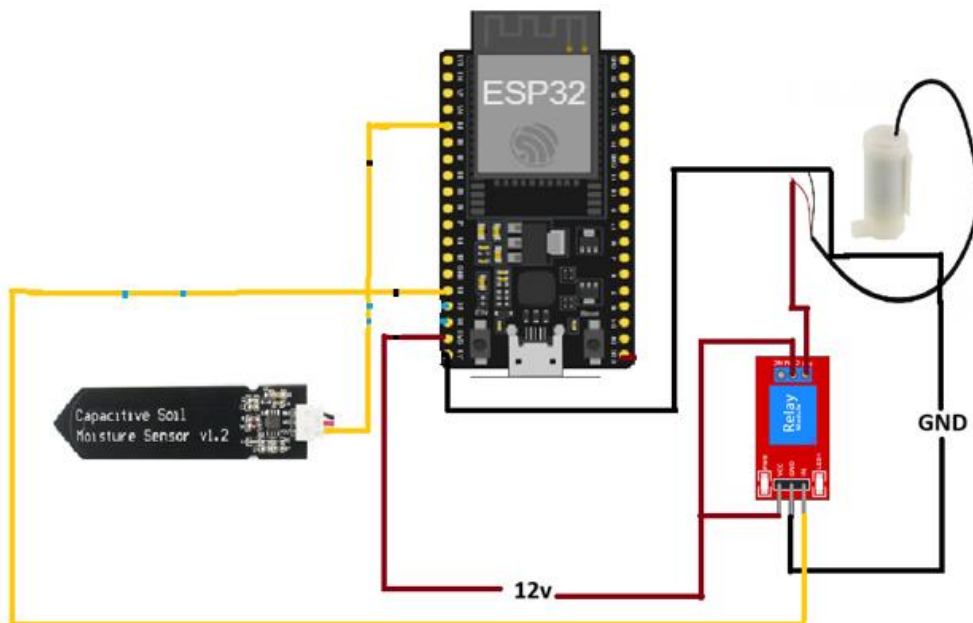
El armado fue validado paso a paso y documentado gráficamente (ver Anexo 2: Manual Técnico de Creación).

Componentes del circuito

- **Sensor de humedad capacitivo:** mide en tiempo real la humedad del suelo.
- **Microcontrolador ESP32:** recibe la información del sensor, toma decisiones según los niveles de humedad y emite señales de control. También posee conectividad WiFi para comunicación con la nube o una app móvil.
- **Módulo de relé:** actúa como interruptor controlado electrónicamente, aislando al ESP32 del circuito de potencia de la bomba.
- **Bomba de agua de 12V:** activada por el relé, suministra agua cuando se detectan niveles bajos de humedad.

Todos los componentes están conectados de manera que respetan el flujo de energía y señal necesario para un funcionamiento automático y seguro.

1.5 Esquema de conexión físico





Universidad Autónoma del Estado de México

Elaboración propia.

Este diagrama también se encuentra incluido en el Anexo 2 como parte del Manual Técnico de Creación, donde se explica con mayor detalle el proceso de ensamblaje, conexión de pines y recomendaciones prácticas. Pero también, se presenta aquí para brindar una visión general del montaje físico del sistema, facilitando su comprensión técnica y visual.

5.3.3 Programación del sistema

Se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE, con la integración de la librería ArduinolTCloud y una plantilla de variables que incluía:

- RELAY – Variable tipo bool para encender o apagar la bomba.
- SENSOR – Variable tipo int que representa el valor de humedad del suelo (0–100%).
- La lógica principal del programa fue:
- Leer el valor analógico pin 3 del sensor de humedad y mapearlo de 0 a 100 para darnos el nivel en la gráfica.
- Enviar el valor a la nube para monitoreo en tiempo real.
- Encender o apagar la bomba de forma remota (botón en dashboard).
- Permitir encendido/apagado por sensores PIR en campo.
- Mostrar gráfico y datos descriptivos de la planta monitoreada.

El código completo se incluye en el Anexo 2.



Universidad Autónoma del Estado de México

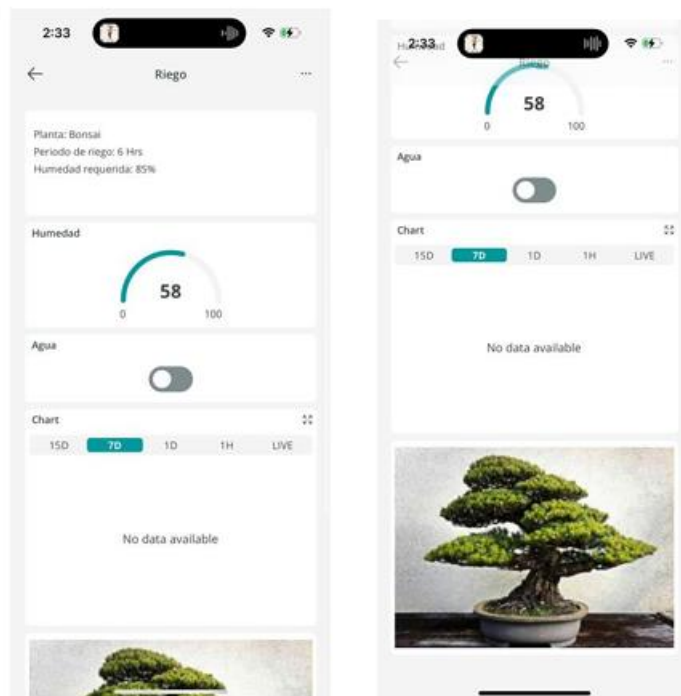
5.3.4 Interfaz de usuario: Arduino IoT Cloud

Se configuró un dashboard personalizado en Arduino IoT Cloud con las siguientes funciones:

- Visualización en tiempo real de los niveles de humedad.
- Botón de encendido/apagado para activar la bomba.
- Gráfica histórica de humedad del suelo.
- Campo de descripción para registrar el tipo de planta.
- Imagen representativa de la planta (opcional, para referencia visual).

El dashboard puede ser consultado desde un dispositivo móvil o computadora con acceso a Internet y se verá como la imagen a continuación.

Ilustración 1 Arduino IoT Representación del dashboard





Universidad Autónoma del Estado de México

Elaboración propia.

5.3.5 Pruebas y ajustes

Se realizaron múltiples pruebas para:

- Verificar que el sistema respondiera correctamente al sensor.
- Medir el tiempo de reacción desde la detección hasta la activación del riego.
- Confirmar la visualización en la plataforma en tiempo real.
- Validar la respuesta del sistema a comandos enviados desde el celular.
- Probar el funcionamiento con distintos niveles de humedad simulados.

Durante estas pruebas se ajustaron valores umbral, temporizadores, sensibilidad del PIR y calibración del sensor para lograr mayor precisión.

5.3.6 Consideraciones técnicas y recomendaciones

- Es importante proteger el sensor y el microcontrolador de la humedad directa (uso de caja o carcasa sellada).
- Se recomienda usar conectores de calidad y soldaduras firmes en la versión definitiva del sistema.
- La bomba debe tener una válvula antirretorno si se conecta a un sistema cerrado o elevado.
- Para escalar el sistema a varios sensores/planta, puede usarse un ESP32 con múltiples entradas analógicas o una red LoRa con sensores inalámbricos.



5.4 Manual de usuario del sistema de riego automatizado

El sistema de riego automatizado está diseñado pensando, sobre todo, en que su uso sea sencillo. La idea es que cualquier persona pueda manejarlo sin necesidad de tener conocimientos técnicos complicados, y que aun así funcione de manera eficiente. En este apartado encontrarás un resumen práctico del manual de usuario; si después quieres profundizar más, el documento completo está disponible en el Anexo 1.

5.4.1 Propósito del sistema

El propósito principal del sistema es mantener el nivel de humedad del suelo dentro de un rango saludable para el cultivo, evitando tanto el riego excesivo como la sequedad perjudicial. Todo esto se logra a través de:

- Monitoreo constante de la humedad del suelo.
- Activación automática o manual de la bomba de agua.
- Control remoto mediante aplicación móvil desde cualquier ubicación.
- Visualización clara del estado de cada planta y sus necesidades.

5.4.2 Requisitos para el usuario

Para utilizar el sistema, el usuario debe contar con los siguientes elementos y condiciones:

- Un dispositivo móvil con acceso a internet.



Universidad Autónoma del Estado de México

- Una cuenta en la plataforma Arduino IoT Cloud.
- Acceso al dashboard del sistema de riego.
- El sistema físico previamente instalado y energizado.

5.4.3 Interacción con el sistema

El sistema puede usarse de forma remota (desde el celular) o local (desde sensores PIR físicos). El uso principal se da a través de la aplicación de Arduino Cloud, con las siguientes funciones:

En la aplicación móvil:

- Visualizar el nivel de humedad actual del suelo, expresado en porcentaje.
- Encender o apagar la bomba de agua mediante un botón digital.
- Observar gráficas históricas de los niveles de humedad.
- Ver descripción personalizada de la planta (nombre, especie, cuidados).
- Visualizar una imagen representativa del cultivo monitoreado.

5.4.4 Pasos para el uso cotidiano

1. Encender la fuente de alimentación del sistema.
2. Abrir la aplicación Arduino Cloud desde un celular o computadora.
3. Verificar que el valor de humedad del suelo se encuentre dentro del rango adecuado (por ejemplo, 40–60%).
4. En caso de humedad baja, se puede:



Universidad Autónoma del Estado de México

- Esperar a que el sistema active automáticamente la bomba, o
 - Encender la bomba manualmente desde la aplicación o el sensor PIR.
5. Apagar la bomba cuando el sistema indique que la humedad es suficiente.

Consultar la gráfica de humedad para ver el comportamiento del riego en días previos

5.4.5 Mantenimiento básico para el usuario

- Verificar periódicamente el estado del sensor de humedad, limpiarlo con un paño seco si acumula residuos.
- Revisar la bomba de agua para evitar obstrucciones.
- Proteger los componentes electrónicos del polvo y la humedad externa (uso de cajas plásticas).
- Si el sistema deja de responder, comprobar:
 - Conexiones eléctricas.
 - Configuración del Wi-Fi.
 - Estado de la cuenta en Arduino Cloud.

5.4.6 Accesibilidad

El diseño del sistema busca que cualquier persona, sin importar su nivel de conocimiento técnico, pueda:



Universidad Autónoma del Estado de México

- Activar y desactivar el riego con facilidad.
- Ver el estado del suelo en tiempo real.
- Supervisar una planta desde cualquier parte del mundo.

Este enfoque puede facilitar la adopción de tecnologías inteligentes en zonas rurales, fomentando el cuidado de los cultivos y el uso responsable del agua.

5.5 Análisis técnico y económico de la viabilidad del sistema

Diseñar un sistema de riego automatizado que funcione bien es apenas el primer paso. La verdad es que, para pensar en llevarlo a la práctica en escenarios reales sobre todo en comunidades rurales, no basta con que la tecnología esté lista: también hay que mirar si es viable en lo técnico, lo económico, lo operativo y hasta en lo social. En esta sección se revisan justamente todos esos puntos, tomando como base el sistema desarrollado en este proyecto.

5.5.1 Viabilidad técnica

Desde el punto de vista técnico, el sistema propuesto ha demostrado ser completamente funcional y adaptable. Su arquitectura se basa en componentes de bajo costo, ampliamente disponibles en el mercado mexicano, y compatibles con múltiples plataformas de desarrollo.



Universidad Autónoma del Estado de México

Tabla 1 Componentes y precios

Componente	Especificación	Costo aproximado (MXN)
Microcontrolador ESP32	Con Wi-Fi integrado	\$120 – \$180
Sensor capacitivo V1.2	Medición de humedad	\$60 – \$100
Bomba de agua 12V	Caudal bajo para macetas o huertos	\$100 – \$150
Módulo de relé	Control digital de bomba	\$30 – \$50
Fuente de alimentación	12V, 2A	\$80 – \$120
Sensor PIR (x2)	Detección de movimiento	\$50 – \$70 cada uno
Cables y protoboard	Varios	\$30 – \$50
Subtotal componentes		\$520 – \$790
Mano de obra (horas hombre)	Diseño, firmware, ensamble, pruebas y documentación ($\approx 24-30 \text{ h} \times \$150/\text{h}$)	\$3,600 – \$4,500
Costos indirectos (10%)	Energía, herramientas, consumibles, traslados	\$412 – \$529
Total estimado del prototipo	Componentes + mano de obra + indirectos	\$4,532 – \$5,819

Elaboración propia.

Total, estimado del prototipo: entre \$500 y \$700 pesos mexicanos, dependiendo de la calidad y lugar de compra.

En caso de escalar el sistema a una instalación agrícola mayor, solo se requeriría:



Universidad Autónoma del Estado de México

- Añadir más sensores en paralelo.
- Usar bombas de mayor capacidad.
- Incluir un sistema de energía solar (ver 5.5.5).

El ESP32 puede manejar múltiples sensores si se emplean multiplexores o comunicación I2C, lo cual lo hace ideal para invernaderos o parcelas con varias zonas de cultivo.

5.5.2 Viabilidad económica

El hecho de que los componentes tengan un costo tan bajo vuelve a este sistema especialmente atractivo para los pequeños productores. Y es que muchos de ellos simplemente no pueden darse el lujo de invertir en las soluciones comerciales tan sofisticadas y costosas que suelen ofrecer las grandes compañías de automatización agrícola. Ahora bien, conviene aclarar algo importante: en su versión actual, este sistema no incluye la parte de potencia, es decir, los elementos que hacen posible la activación física del riego a gran escala, como bombas de agua o válvulas industriales. Justo esos equipos suelen ser, en la práctica, lo que más eleva los costos cuando se implementa un proyecto real.

Además, se estima que este sistema puede reducir el consumo de agua entre un 30% y un 50%, dependiendo del tipo de cultivo. Esta eficiencia puede traducirse en:

- Reducción del gasto en energía eléctrica si se usa una bomba.
- Menor costo en agua (en cultivos con sistema entubado o tarifa agrícola).
- Aumento de la productividad al evitar el riego excesivo o inadecuado.
- Menores pérdidas por enfermedades relacionadas con exceso de humedad.



Universidad Autónoma del Estado de México

Retorno de Inversión (ROI) del sistema de riego automatizado

El retorno de inversión (ROI) de este sistema de riego automatizado pinta bastante bien. Y es que, al ser tan accesible en cuanto al costo de sus componentes, se vuelve una opción realmente atractiva para los productores de pequeña escala, quienes muchas veces no tienen la posibilidad de gastar en las soluciones más sofisticadas y caras que suelen ofrecer las grandes empresas de automatización agrícola.

Lo interesante es que no solo se trata de una inversión alcanzable, sino también eficiente: se estima que este sistema puede reducir el consumo de agua entre un 30% y un 50%, dependiendo del tipo de cultivo. Dicho en otras palabras, no solo ayuda a ahorrar dinero, también cuida los recursos. Y claro, esos ahorros se sienten tanto en el consumo de agua como en la factura de electricidad.

Para dar una idea más clara, a continuación se muestra una tabla con un ejemplo de recuperación de inversión. Se tomó como referencia una unidad productiva de aproximadamente 500 m² de cultivo de jitomate, ubicada en un clima templado-seco, que opera con un sistema de riego por goteo automatizado y controlado mediante sensores de humedad.

Tabla 2 Retorno de inversión

Concepto	Estimación mensual (ejemplo)
Ahorro en agua	\$150
Ahorro en energía eléctrica	\$50
Menores pérdidas de cultivos	\$200
Total, mensual estimado	\$400



Universidad Autónoma del Estado de México

Elaboración propia.

Es importante aclarar que esta estimación no contempla la parte de potencia, es decir, equipos como las bombas de presión, las válvulas eléctricas de gran caudal o incluso sistemas de energía solar. Y la verdad es que estos elementos pueden llegar a representar una inversión extra bastante considerable. Mencionarlo no es un simple detalle: en muchos proyectos de automatización agrícola, justo estos componentes suelen ser los más caros y los que marcan la diferencia en el presupuesto final.

5.5.3 Viabilidad operativa y social

Una de las grandes ventajas de este sistema es que fue creado con un enfoque accesible:

- No necesitas tener experiencia técnica para usarlo.
- Puedes operarlo desde tu teléfono móvil.
- Las instrucciones están disponibles en español.
- El mantenimiento es mínimo y muy fácil de realizar.

Este diseño lo convierte en una opción ideal para implementarse en comunidades rurales, ejidos, escuelas técnicas y hogares con huertos urbanos.

5.5.4 Reto para su adopción

Aunque esta propuesta es totalmente viable, la verdad es que también aparecen ciertos desafíos que podrían frenar su adopción masiva, sobre todo en comunidades rurales o en aquellas zonas donde la infraestructura tecnológica



Universidad Autónoma del Estado de México

todavía es limitada. Entre los principales retos que se han identificado están los siguientes:

- **Conectividad:** muchas comunidades rurales siguen sin contar con un acceso estable a internet. Esto complica bastante el monitoreo remoto y también limita la integración con plataformas en la nube, que son clave para aprovechar al máximo estas soluciones.
- **Acceso a componentes:** en regiones más alejadas no siempre es sencillo conseguir piezas como un ESP32, sensores de humedad, bombas o incluso módulos de relé. Y claro, sin estos elementos básicos el sistema no puede funcionar.
- **Etapas de potencia:** aquí viene uno de los puntos más delicados. Aunque el sistema de control elegido es muy económico, necesitamos considerar toda la parte de potencia: bombas de agua, válvulas eléctricas e incluso, en algunos casos, sistemas de energía autónomos como los paneles solares. La elección de la bomba dependerá del caudal y la presión necesarios para el riego, lo que significa que puede ser monofásica, bifásica o trifásica, dependiendo de la red eléctrica disponible y la capacidad del motor. Además, hay que pensar en el tipo de arranque del sistema (ya sea directo, estrella-triángulo o con variador de frecuencia) para lograr un funcionamiento eficiente y alargar la vida útil del equipo. Esta etapa representa uno de los mayores costos dentro de un sistema de riego automatizado, especialmente cuando se trata de grandes extensiones de cultivo o de lugares donde no hay conexión a la red eléctrica.
- **Capacitación:** también es clave acompañar a los usuarios. No basta con instalar el sistema; se necesita un programa que los capacite en instalación, mantenimiento y resolución de errores. De lo contrario, la tecnología corre el riesgo de quedar en el abandono.



Universidad Autónoma del Estado de México

- **Financiamiento inicial:** aunque el costo del sistema IoT es bajo si lo comparamos con otras alternativas, para algunos productores sigue siendo un gasto fuerte. Sin apoyos económicos, subsidios o microcréditos, puede convertirse en una barrera difícil de superar.

Aun así, estos retos no son imposibles de resolver. De hecho, se pueden mitigar con alianzas estratégicas entre universidades, gobiernos locales, ONGs y centros de innovación agrícola. Estas instituciones pueden aportar no solo capacitación y asistencia técnica, sino también alternativas de financiamiento que permitan abrirle camino a la adopción de estas tecnologías en el campo mexicano.

5.5.5 Posibilidad de integración con energías renovables

Uno de los aspectos más emocionantes para llevar la sostenibilidad del sistema a otro nivel es la posibilidad de combinarlo con paneles solares. Y es que no se trata solo de ahorrar energía, sino de aprovechar una fuente limpia y confiable que puede marcar la diferencia a largo plazo.

Ahora bien, la elección de la bomba no es un detalle menor. Su tipo y tamaño dependen de varios factores técnicos que conviene tener muy claros: el caudal necesario (en litros por minuto), la presión de trabajo (ya sea en m.c.a. o en PSI), la longitud y el diámetro de la red hidráulica, además de las inevitables pérdidas de carga en los accesorios y la altura a la que se quiera elevar el agua.

Si hablamos de un prototipo pensado para algo sencillo por ejemplo, regar una sola planta, unas cuantas macetas o incluso un pequeño huerto familiar, un caudal de entre 2 y 4 litros por minuto y una presión de 1 a 2 bar resultan más que suficientes. En este escenario, una bomba de 12 V DC encaja perfectamente, ya que puede alimentarse con un sistema fotovoltaico de baja



Universidad Autónoma del Estado de México

potencia. Imagínalo: un panel de apenas 10 W, un regulador de carga y una batería de 12 V bastan para hacerlo funcionar. Eso abre la puerta a un sistema ligero, autónomo y muy accesible:

- Utilizar el sistema en áreas sin acceso a la red eléctrica.
- Operarlo de manera completamente independiente (off-grid).
- Disminuir aún más los costos operativos.
- Fomentar el uso de energías limpias en la agricultura.

Cuando el sistema necesita crecer, por ejemplo en proyectos más grandes donde hace falta mayor presión o un caudal más fuerte, se puede dar el salto al uso de bombas de 24 V, 48 V o incluso de corriente alterna (AC). Claro, todo esto acompañado de sistemas solares más robustos, con sus inversores y bancos de baterías diseñados justo para cubrir esas demandas.

La ventaja de esto es que no hay que empezar desde cero, sino que el sistema tiene la flexibilidad de adaptarse al tamaño del proyecto. Y lo mejor es que, aun cuando escala, nunca se pierde de vista lo más importante: la eficiencia energética y la sostenibilidad, que al final del día son la base de todo este enfoque.

5.5.6 Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este sistema contribuye directamente a varios ODS de la Agenda 2030:

- ODS 6 – Agua limpia y saneamiento: uso eficiente del agua para riego.
- ODS 12 – Producción y consumo responsables: reducción del desperdicio.
- ODS 13 – Acción por el clima: ahorro energético y posible uso de solar.



Universidad Autónoma del Estado de México

- ODS 2 – Hambre cero: apoyo a la producción de alimentos en comunidades rurales.

5.6 Casos similares y experiencias reales en México y Latinoamérica

Para dar contexto y, la verdad, validar con los pies en la tierra la propuesta de esta tesina, resulta clave mirar experiencias similares realizadas en distintas regiones de México y América Latina. Estos casos no solo nos ayudan a entender qué se ha hecho bien, sino que también muestran resultados concretos, evidencian los desafíos que se repiten y abren la puerta a oportunidades de mejora. En conjunto, ofrecen un mapa práctico para implementar tecnologías de riego automatizado e IoT en la agricultura, además de orientar decisiones más informadas y sostenibles.

5.6.1 Proyecto piloto de riego inteligente en Guanajuato, México

En 2022, la Universidad de Guanajuato, junto con un grupo de productores agrícolas de Celaya, dio vida a un proyecto bastante innovador: un sistema de riego que no solo mide la humedad del suelo, sino también la temperatura y hasta la radiación solar a través de sensores. Lo interesante es que todo está conectado a una plataforma web que permite manejarlo a distancia, casi como si uno estuviera ahí mismo en el invernadero con un par de clics. Este esfuerzo se puso en marcha en cultivos de jitomate bajo invernadero, marcando un paso importante hacia una agricultura más precisa y moderna.

Resultados obtenidos:

- Se logró reducir el consumo de agua en un 42%.



Universidad Autónoma del Estado de México

- La calidad de los frutos mejoró notablemente.
- Se incrementó el rendimiento por metro cuadrado.

Desafíos enfrentados:

- La conectividad en las zonas rurales fue inestable.
- Los agricultores tuvieron dificultades para adaptarse a la tecnología sin el apoyo técnico necesario.

5.6.2 Experiencia de riego con sensores en Morelos

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) ha creado un sistema económico utilizando Arduino y sensores capacitivos en parcelas experimentales. Este sistema se puso a prueba en cultivos de hortalizas bajo condiciones de clima cálido y seco.

Hallazgos:

- El uso de sensores permitió disminuir la cantidad de riegos semanales sin perjudicar el crecimiento de los cultivos.
- Se logró un ahorro de hasta un 35% en el consumo de agua.

Los productores valoraron de manera positiva la opción de monitoreo remoto.

Limitación encontrada:

- Se detectó corrosión en los sensores resistivos después de unas pocas semanas, lo que respalda la elección del sensor capacitivo V1.2 para este proyecto.



5.6.3 Iniciativa AgroSmart (Brasil)

AgroSmart es una empresa brasileña que poco a poco se ha ganado un lugar como referente en agricultura de precisión, sobre todo en cultivos comerciales. No se trata solo de vender sensores o estaciones meteorológicas; su propuesta va más allá, porque integra todo en plataformas en la nube que permiten gestionar, de manera bastante completa, procesos tan críticos como el riego, la fertilización e incluso la cosecha.

Ahora, es cierto que no es una solución barata. Pero la verdad es que la experiencia que han acumulado demuestra algo muy poderoso: cuando el suelo y el clima se monitorean con precisión, los resultados cambian radicalmente. En cultivos de exportación tan importantes como el café o la caña de azúcar, los agricultores han llegado a ver hasta un 50% más de rendimiento. Y ese número, en un sector tan exigente, realmente marca la diferencia.

Lecciones que se pueden aplicar al caso de Michoacán:

- El análisis de datos a lo largo del tiempo permite prever sequías o problemas de riego.
- La integración de inteligencia artificial mejora la toma de decisiones automatizada.
- Es fundamental contar con una infraestructura digital estable para que funcione de manera óptima.

5.6.4 Proyecto “Riego Inteligente Comunitario” en Oaxaca

En las comunidades zapotecas de los Valles Centrales de Oaxaca, una ONG implementó un innovador sistema de riego que utiliza sensores y



Universidad Autónoma del Estado de México

microcontroladores para cultivar milpa en terrazas de difícil acceso. Este sistema se alimenta de energía solar y se puede monitorear fácilmente desde un teléfono celular.

Impacto social:

- Se ha reducido la carga laboral para las mujeres que antes se encargaban del riego manual.
- El consumo de agua ha disminuido en un 38%.
- Además, ha mejorado el rendimiento de maíz y frijol.

Iniciativas como esta demuestran que los sistemas sostenibles, accesibles y de bajo costo, como el que se desarrolló en esta tesina, pueden ser replicados y escalados en otras comunidades que enfrentan condiciones similares a las de Michoacán.

5.6.5 Comparación entre casos

En la tabla vamos a encontrar los diferentes proyectos antes mencionados donde se compara los puntos más fuertes de cada uno que se tiene que considerar para darnos una idea de su eficiencia.

Tabla 3 Comparación de casos

Proyecto	Tecnología usada	Ahorro de agua	Tipo de cultivo	Escalabilidad
Guanajuato	Sensores + plataforma web	42%	Jitomate en invernadero	Media
Morelos	Arduino + sensor capacitivo	35%	Hortalizas al aire libre	Alta



Universidad Autónoma del Estado de México

AgroSmart (Brasil)	Estaciones + IA	50%	Café, caña, soya	Alta (comercial)
Oaxaca	Sensores + solar + celular	38%	Milpa (maíz, frijol)	Alta
Este proyecto (Michoacán)	ESP32 + IoT Cloud + sensor V1.2	30– 50%	Cualquier tipo (escalable)	Alta (modular)

Elaboración propia.

5.6.6 Conclusiones de los casos revisados

- El uso de sensores para el riego es una estrategia efectiva, comprobada y fácil de replicar.
- La tecnología de bajo costo puede ofrecer resultados comparables a los sistemas comerciales, siempre que se aplique de manera adecuada.
- La verdadera barrera no es tecnológica, sino social y educativa: se trata de acceso, capacitación y conectividad.
- Integrar energía solar y plataformas móviles puede potenciar aún más el impacto del sistema.
- El sistema que se propone en esta tesina está alineado con las mejores prácticas y puede implementarse en diversas regiones con solo algunas adaptaciones.



5.7 Desafíos del campo mexicano ante el cambio climático

La agricultura en México atraviesa un momento decisivo. Por un lado, sigue siendo el pilar que garantiza la seguridad alimentaria y da trabajo a millones de familias. Pero, al mismo tiempo, carga con problemas estructurales y ambientales que ponen en riesgo su futuro, no solo a corto plazo, sino también en el largo camino que viene.

Además, el cambio climático ha venido a complicar aún más las cosas. Sus efectos no son parejos: quienes más lo resienten son justamente las comunidades rurales con menos recursos, esas que ya de por sí viven con limitaciones y que ahora deben enfrentar retos todavía más grandes. Y es que, al final del día, hablamos de la gente que sostiene con su esfuerzo la mesa de todo un país.

5.7.1 Escasez de agua y sequías prolongadas

Uno de los efectos más evidentes del cambio climático es cómo ha alterado los patrones de lluvia y ha reducido la disponibilidad de agua dulce. En México:

- El 84% del agua dulce se destina a la agricultura (CONAGUA, 2023).
- Entre 2019 y 2024, al menos 6 de cada 10 presas del país han estado en niveles críticos.
- Estados como Michoacán, Guanajuato, Sonora y Zacatecas han enfrentado pérdidas de cultivos debido a sequías prolongadas.

La sequía no solo impacta la producción, sino que también intensifica los conflictos por el uso del agua, afectando a las comunidades indígenas y a los pequeños productores.



5.7.2 Prácticas agrícolas insostenibles

Muchas áreas agrícolas todavía utilizan métodos que causan degradación ambiental, tales como:

- El uso excesivo de agua a través del riego por inundación.
- La sobreexplotación de acuíferos mediante pozos sin regulación.
- La pérdida de cobertura forestal para la expansión de cultivos.
- El uso excesivo de agroquímicos.

Estas prácticas no solo disminuyen la fertilidad del suelo, sino que también aumentan la vulnerabilidad del ecosistema frente al cambio climático.

5.7.3 Deforestación y cambio de uso del suelo

En estados como Michoacán, la deforestación acelerada está relacionada con el crecimiento de monocultivos comerciales como el aguacate y los frutos rojos. Según datos de la FAO y La Jornada (2023):

- Se han perdido más del 60% de las áreas forestales en dos décadas.
- La tala ilegal y el cambio de uso del suelo han disminuido la captación natural de agua.
- Algunas comunidades purépechas han reportado quedarse sin agua durante meses.

El sistema de riego inteligente propuesto en esta tesina responde a la necesidad urgente de gestionar mejor los recursos hídricos y evitar la presión adicional sobre las zonas boscosas.



Universidad Autónoma del Estado de México

5.7.4 Impacto socioeconómico en comunidades rurales

El deterioro ambiental en el campo no solo afecta al ecosistema, sino que también tiene un impacto social profundo:

- Miles de pequeños agricultores se han visto obligados a dejar sus tierras debido a la falta de recursos.
- Las mujeres y los jóvenes en áreas rurales enfrentan serios obstáculos para acceder a tecnologías agrícolas.
- El aumento en los costos de producción ha hecho que muchos cultivos tradicionales ya no sean viables.

Desarrollar tecnologías que sean accesibles, económicas y eficientes, como el sistema que se investiga aquí, es una forma concreta de revertir esta situación desde la base.

5.7.5 Urgencia de políticas públicas con enfoque sustentable

Aunque ya hay programas de apoyo al campo como SADER, CONAGUA y Semarnat, es fundamental que:

- Se impulse el uso de tecnología adecuada, no solo maquinaria industrial.
- Se respalden proyectos piloto comunitarios con el apoyo técnico necesario.
- Se establezcan vínculos entre universidades y comunidades rurales para desarrollar soluciones en conjunto.



5.8 Formación tecnológica para el campo: educación rural y acceso a la innovación

Una de las grandes barreras que enfrentan muchas comunidades rurales para adoptar tecnologías inteligentes en la agricultura no siempre tiene que ver con el costo de los equipos o con que los dispositivos estén disponibles. La verdad es que, en la mayoría de los casos, el obstáculo más fuerte es la falta de formación técnica y el acceso limitado a la información.

Por eso, el desarrollo de sistemas como el que se presenta en esta tesina cobra tanto valor. Son soluciones pensadas para ser asequibles, prácticas y fáciles de poner en marcha. Y lo interesante es que su impacto puede ser enorme. Claro, siempre y cuando se acompañen de programas de capacitación y de un verdadero apoyo comunitario, porque la tecnología por sí sola no basta: necesita ir de la mano con la gente.

5.8.1 Brecha digital en el medio rural mexicano

Según datos del INEGI, menos de la mitad de las comunidades rurales en México tienen acceso a internet: apenas un 48%, frente al 80% que se alcanza en las ciudades. Y es que esa diferencia no es solo un número, en la práctica se traduce en una barrera enorme que impide aprovechar tecnologías tan valiosas como el Internet de las Cosas, las plataformas en la nube o incluso las aplicaciones móviles que hoy parecen tan cotidianas. (INEGI, 2022).

Además, la realidad es que la alfabetización digital en el campo sigue siendo muy baja. Este reto se acentúa entre personas adultas mayores y en comunidades indígenas, que cargan con una brecha no solo tecnológica, sino



Universidad Autónoma del Estado de México

también generacional, económica y educativa. Y eso, al final, limita sus oportunidades en un mundo que cada día depende más de la conectividad.

5.8.2 Educación tecnológica como herramienta de empoderamiento rural

El acceso a la innovación puede convertirse en un instrumento de inclusión y desarrollo rural si se diseña con un enfoque pedagógico adecuado. Algunas estrategias exitosas incluyen:

- Talleres prácticos sobre microcontroladores (Arduino, ESP32).
- Cursos comunitarios sobre agricultura de precisión.
- Proyectos escolares de secundaria/telesecundaria basados en huertos automatizados.
- Programas piloto coordinados entre universidades y ejidos locales.

En este sentido, el sistema desarrollado en esta tesina puede ser utilizado como herramienta educativa, al permitir que jóvenes y campesinos aprendan electrónica básica, programación y uso de plataformas digitales.

5.8.3 Propuesta de integración con instituciones educativas y sociales

Para asegurar que el sistema se adopte de manera efectiva, se recomienda:

- Establecer convenios con CBTIS, CONALEP, universidades tecnológicas y telesecundarias rurales para implementar el sistema como un proyecto educativo.
- Desarrollar kits de instalación didácticos que incluyan diagramas, sensores y módulos preconfigurados.



Universidad Autónoma del Estado de México

- Crear videos tutoriales que sean accesibles en lenguas indígenas o que utilicen un lenguaje sencillo.
- Fomentar el acompañamiento comunitario a través de estudiantes universitarios en servicio social.

Esto facilitaría una verdadera transferencia de conocimientos y ayudaría a formar capacidades locales que perduren más allá de la intervención inicial.

5.8.4 La democratización de la tecnología en el sector agrícola.

La democratización de la tecnología en el agro es fundamental. La verdadera innovación no se trata de crear soluciones complicadas, sino de hacer que sean accesibles y útiles para quienes realmente las necesitan. Por eso, la automatización del riego con sensores de humedad no debería ser un lujo reservado solo para las grandes agroindustrias, sino una herramienta que todos los pequeños productores mexicanos puedan utilizar en su día a día.

El modelo que se propone en esta investigación tiene un gran potencial para ser adoptado de manera masiva, siempre y cuando se integre en una estrategia de formación tecnológica rural, respaldada por políticas públicas, organizaciones civiles y centros educativos.

5.9 Propuesta de escalabilidad del sistema: de una planta a un invernadero

El sistema de riego automatizado que se desarrolló en esta investigación nació con un objetivo sencillo: funcionar en una sola planta o maceta. Sin embargo, la verdad es que una de sus mayores fortalezas está en algo mucho más grande: su capacidad de crecer y adaptarse. Y es que no se queda limitado a un



Universidad Autónoma del Estado de México

experimento pequeño, puede escalarse fácilmente a distintos escenarios productivos, desde un huerto familiar en el patio hasta un invernadero comercial o incluso una parcela comunitaria.

En esta sección se explica, paso a paso, cómo lograr esa escalabilidad de manera modular, técnica y también económica. La idea es que el sistema conserve siempre su esencia: ser accesible, práctico y realmente útil para quienes lo implementen.

5.9.1 ¿Qué implica escalar el sistema?

Escalar el sistema implica expandir el control de una única zona de riego a varias zonas o incluso a diferentes plantas, sin tener que empezar de nuevo con todo el diseño. Esto puede abarcar:

- Incorporar más sensores de humedad para diversas secciones del cultivo.
- Instalar más válvulas electrónicas que permitan un riego independiente en cada zona.
- Gestionar todo desde un único microcontrolador o desde varios que estén interconectados.
- Visualizar todos los sensores en una sola aplicación o en un panel de control en la nube.

5.9.2 Diseño modular del sistema

La clave que permite que el sistema sea escalable es su estructura modular. Cada módulo incluye:

- 1 sensor de humedad.



Universidad Autónoma del Estado de México

- 1 válvula de riego (o bomba).
- 1 zona de cultivo delimitada.

Esta estructura modular hace que el sistema pueda crecer poco a poco sin perder estabilidad. La idea es sencilla: si partes de un módulo que ya funciona bien, solo necesitas replicar esa misma base para ir sumando nuevos módulos y así dimensionar el sistema según las necesidades del cultivo.

Ahora bien, la superficie que puede cubrir un solo sensor no es fija, puede variar bastante. En espacios controlados, como un invernadero con suelo homogeneizado, se estima que un sensor puede monitorear entre 1 m² y 2 m². Claro, esto depende tanto del tipo de sustrato como de cómo se distribuye la humedad. Para ponerlo en un ejemplo más claro: imagina un invernadero con 12 camas de cultivo de alrededor de 1 m² cada una. Ese espacio podría organizarse en 4 módulos, y en cada módulo, un sensor junto con una válvula sería capaces de controlar 3 camas de cultivo.

En cuanto al equipo hidráulico, la selección de la bomba de cada módulo no es un detalle menor. Tiene que elegirse con base en las necesidades específicas de la red, asegurando aspectos clave como los siguientes:

- Tensión de alimentación: 12 V DC o superior, en función de la energía disponible.
- Corriente nominal: típica de 1–3 A de uso doméstico o experimental.
- Potencia: de 12–36 W en sistemas pequeños.
- Presión de trabajo: 1–2 bar para el riego localizado en invernaderos.
- Caudal: 2–6 L/min en función del área cubierta.

Si se emplea en lugar de bomba electroválvula se debe tener en cuenta lo siguiente que:

- Incrementa el gasto energético por el accionamiento del solenoide



Universidad Autónoma del Estado de México

- Requiere adecuaciones del programa para controlar adecuadamente la abrir y cerrar de manera independiente
- Incrementa ligeramente el coste por módulo

Por este motivo, es recomendable definir desde la fase de diseño si cada módulo, será con bomba para cada módulo o electroválvula, para que así la infraestructura eléctrica, el dimensionado de la alimentación y el programa de control, se prevean desde el inicio.

5.9.3 Componentes necesarios para escalar

Los siguientes componentes se proponen a los que se utilizaron en el proyecto, pero también se proponen unas alternativas con las mismas especificaciones.

Tabla 4 Componentes

Elemento	Opción básica	Alternativa avanzada
Microcontrolador	ESP32	ESP32 + módulo I2C o LoRa
Lectura de sensores	Entradas analógicas directas	Multiplexor analógico o expansor I2C
Control de válvulas	Módulo de relés 4/8 canales	Placa MOSFET o válvulas inteligentes
Energía	Fuente común 12V	Sistema fotovoltaico
Dashboard de monitoreo	Arduino IoT Cloud	Home Assistant, Blynk o app propia

Elaboración propia.



5.9.4 Visualización y control multiplanta

A medida que escalamos el sistema, es fundamental que la capacidad de visualización también se expanda. En plataformas como Arduino Cloud, puedes:

- Crear dashboards independientes para cada módulo.
- Mostrar gráficos de humedad por diferentes zonas.
- Activar el riego por sector, ya sea de forma manual o automática.
- Programar alertas para cuando alguna zona alcance niveles críticos de humedad.

Esto facilita la gestión de cultivos con diversas necesidades hídricas desde un solo lugar.

5.9.5 Uso de comunicación inalámbrica (LoRa o Wi-Fi Mesh)

En situaciones donde los campos de cultivo están bastante separados (como en un terreno abierto), se puede establecer una red de sensores inalámbricos utilizando tecnologías como:

- LoRa: perfecta para comunicación a larga distancia, con bajo consumo de energía y sin necesidad de internet.
- Wi-Fi Mesh: ideal para invernaderos grandes que cuentan con una buena infraestructura.

Estas tecnologías permiten que cada nodo (sensor) se conecte con una unidad central que se encarga de tomar decisiones y gestionar todo el sistema.



Universidad Autónoma del Estado de México

5.9.6 Costos estimados para escalar el sistema

Los costos estimados contemplan lo esencial: sensores, microcontroladores ESP32, válvulas solenoides básicas de baja presión, materiales de conexión y los componentes de comunicación. Sin embargo, no incluyen la parte de potencia necesaria para bombas de mayor caudal ni tampoco la infraestructura hidráulica más pesada.

Y es que, en caso de que el sistema requiera un bombeo adicional para generar más presión, o si se trata de redes de distribución más complejas, habrá que sumar costos extra. Estos dependerán mucho de las condiciones específicas del sitio y, sobre todo, del tipo de bomba que se necesite implementar.

Tabla 5 Costos a tamaño

Escenario	Nº zonas	Costo aproximado (MXN)
Maceta única (prototipo)	1	\$700
Huerto casero (3 zonas)	3	\$1,800 – \$2,100
Invernadero pequeño (6 zonas)	6	\$3,200 – \$4,000
Campo comunitario (12 zonas)	12	\$6,000 – \$7,000

Elaboración propia

Para esta estimación, se consideró el costo promedio en línea de los componentes principales: válvulas solenoides de bajo costo (\$150–\$200 MXN), sensores de humedad tipo resistivo (\$50–\$80 MXN), microcontroladores ESP32 (\$120–\$180 MXN) y materiales de conexión. Los precios varían según el proveedor, el tipo de válvula (electromecánica o de paso), y si se requiere comunicación por WiFi o LoRa. Esta evaluación es representativa y tiene fines ilustrativos para mostrar la escalabilidad del sistema



5.9.7 Aplicaciones reales del sistema escalado

- Invernaderos escolares: ideales para proyectos educativos.
- Huertos familiares, ya sean urbanos o rurales.
- Cultivos en terrazas o en áreas montañosas.
- Proyectos comunitarios respaldados por el gobierno o universidades.

Su capacidad de escalar lo convierte en una solución práctica, económica y adaptable, lista para enfrentar tanto desafíos técnicos como contextuales.

5.10 Aplicación del enfoque PMBOK en la gestión del proyecto

Además de su valor técnico y funcional, el desarrollo de este sistema de riego automatizado también se planteó como un proyecto formal. No se trató solo de diseñar y armar un prototipo, sino de seguir una metodología clara que diera orden y sentido a cada etapa. Para ello, se tomaron como base los lineamientos del Project Management Body of Knowledge (PMBOK).

La verdad es que este marco, propuesto por el Project Management Institute (PMI), resulta muy útil porque ayuda a dividir el ciclo de vida de un proyecto en procesos, áreas de conocimiento y entregables bien definidos. En otras palabras, brinda una especie de mapa que facilita avanzar con pasos firmes, evitando improvisaciones y asegurando que el resultado final cumpla con lo que se había planeado desde el inicio.



5.10.1 Justificación de la gestión por proyectos

El desarrollo de soluciones tecnológicas como esta necesita una planificación bien estructurada, que tenga en cuenta aspectos como el tiempo, los recursos, el alcance, los riesgos y la calidad. Gracias al enfoque PMBOK, se logró:

- Definir claramente los objetivos del proyecto.
- Asignar los recursos de manera efectiva.
- Gestionar las fases de desarrollo, prueba y documentación.
- Establecer controles de seguimiento para evaluar el progreso.

5.10.2 Áreas de conocimiento aplicadas

Según el estándar PMBOK, un proyecto debe contemplar las siguientes 10 áreas de conocimiento. En este caso, se aplicaron principalmente:

Tabla 6 Áreas aplicadas

Área de conocimiento	Aplicación en el proyecto
Gestión del alcance	Definición precisa del sistema a desarrollar (rango funcional).
Gestión del tiempo	Cronograma dividido en etapas (investigación, diseño, prueba).
Gestión de costos	Presupuesto detallado por componente (ver sección 5.5).
Gestión de la calidad	Pruebas de funcionamiento, calibración de sensores.



Universidad Autónoma del Estado de México

Gestión de los recursos	Asignación de materiales, software y tiempos personales.
Gestión de riesgos	Identificación de fallos potenciales (Wi-Fi, humedad, fallos de sensor).
Gestión de la comunicación	Documentación, manuales, presentación y uso de plataforma en la nube.

Elaboración propia

5.10.3 Estructura del proyecto según PMBOK

El proyecto se dividió en las siguientes fases, cada una con sus entregables específicos (ver Anexo 3):

1. Inicio del proyecto
 - Documento de justificación.
 - Identificación de partes interesadas (stakeholders).
 - Declaración del objetivo principal.
2. Planificación
 - Cronograma de actividades.
 - Presupuesto de componentes.
 - Análisis de riesgos iniciales.
 - Diagrama de red de tareas (PERT/CPM simplificado).
3. Ejecución
 - Compra de componentes.
 - Ensamblado del sistema.
 - Programación del microcontrolador.
 - Pruebas funcionales.
4. Monitoreo y control



Universidad Autónoma del Estado de México

- Revisión del cumplimiento de objetivos.
 - Ajustes al sistema durante pruebas.
 - Calibración del sensor.
5. Cierre
- Redacción de documentación final.
 - Manuales de usuario y técnico.
 - Presentación final del prototipo.

5.10.4 Herramientas utilizadas en la gestión

- Diagrama de Gantt (planificación temporal).
- Matriz de análisis de riesgos (fallos posibles y respuestas).
- WBS (Work Breakdown Structure): división del trabajo por paquetes.
- Presupuesto comparativo de materiales (cotizaciones).
- Registro de cambios en el diseño según pruebas.

5.10.5 Beneficios de aplicar PMBOK

- Se mantuvo el proyecto dentro del alcance y presupuesto.
- Se identificaron problemas antes de implementarlos en campo.
- Se documentó el proceso completo, facilitando su replicación.
- Se redujo la improvisación, optimizando tiempo y recursos.
- Se generaron entregables tangibles y medibles.



Universidad Autónoma del Estado de México

5.10.6 Documentación del proyecto

El documento completo de gestión, estructurado según los lineamientos PMBOK, se encuentra en el Anexo 3 – Gestión del Proyecto bajo PMBOK, e incluye:

- Acta de constitución del proyecto.
- Cronograma.
- Presupuesto.
- Matriz de riesgos.
- Alcance y objetivos.
- Plan de comunicación.
- Plan de gestión de calidad.



Universidad Autónoma del Estado de México

VI. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN EMPLEADAS

Para dar respuesta al problema planteado y a las preguntas de investigación, se eligió una metodología mixta. Es decir, se combinó un enfoque documental con uno experimental apoyado en simulaciones digitales. La verdad es que esta estrategia resultó muy práctica, porque no solo permitió construir un marco teórico sólido sobre los sistemas de riego automatizado, sino que también abrió la puerta al diseño y la evaluación de un modelo funcional en condiciones controladas.

1. Investigación documental

Se realizó una revisión amplia y cuidadosa de literatura científica, técnica y de divulgación. Los temas que se abordaron fueron clave: desde los sistemas de riego aplicados a la agricultura, pasando por las tecnologías de sensores de humedad y el papel del Internet de las Cosas (IoT) en entornos rurales, hasta llegar a los problemas ambientales más presentes en el estado de Michoacán. Toda esta información sirvió como base para darle forma al marco teórico y al contexto de la investigación.

2. Comparativa y selección de sensores de humedad

Dentro del diseño experimental, una parte fundamental fue analizar diferentes sensores de humedad disponibles en el mercado. La evaluación se centró en sus características técnicas, compatibilidad, durabilidad, precisión, tipo de señal y la facilidad con la que podían integrarse a microcontroladores como Arduino y ESP32.

Los sensores analizados fueron:

- **YL-69 / FC-28 (resistivo):** Un sensor muy básico, con salidas analógica y digital. Es fácil de usar, aunque su gran inconveniente es que se corroe



Universidad Autónoma del Estado de México

con rapidez si se mantiene alimentado de forma continua. Puede funcionar bien en prácticas educativas, pero no es recomendable para proyectos de campo a largo plazo.

- **Capacitivo V1.2:** Una opción económica y confiable, ya que al no tener contacto directo con el agua no sufre corrosión. Se conecta fácilmente a entradas analógicas, lo que lo convierte en un candidato ideal para proyectos IoT de bajo costo en riego. Por su equilibrio entre durabilidad y precio, este fue el sensor que elegí personalmente para el proyecto.
- **DFRobot SEN0193:** Un sensor capacitivo de alta precisión, resistente al agua y muy confiable en aplicaciones reales. Su costo es mayor, pero a cambio ofrece una gran estabilidad, por lo que se utiliza bastante en proyectos profesionales de riego automatizado.
- **Adafruit STEMMA Soil Sensor:** Un sensor digital que se comunica por I2C. Destaca por su precisión y por ofrecer también la medición de temperatura del suelo. Aunque requiere librerías específicas para funcionar, es una alternativa robusta para quienes buscan un monitoreo más complejo y multivariable.
- **SHT10 Soil:** Un sensor digital avanzado, compatible con microcontroladores mediante el protocolo 1-wire. Su integración puede ser un poco más compleja en cuanto a programación, y suele encontrarse más en aplicaciones técnicas muy especializadas.
- **Sensores tensiométricos:** Son de uso totalmente profesional. No se conectan de forma directa a los microcontroladores, sino que requieren amplificadores o conversores como el HX711. Lo interesante es que miden la tensión del agua en el suelo, ofreciendo una lectura más fisiológica del estrés hídrico de las plantas.



Recomendación Técnica

Para los sistemas de riego inteligente con conectividad IoT, ya sea a través de Arduino Cloud o de un ESP32, lo más recomendable es trabajar con sensores como el Capacitivo V1.2 conocido por su fiabilidad, su resistencia a la corrosión y su bajo costo o el DFRobot SEN0193, que destaca por su precisión y durabilidad en el tiempo.

En este proyecto, después de revisar varias opciones, se eligió el sensor Capacitivo V1.2 como la alternativa más adecuada. La verdad es que ofrece un balance muy atractivo: es durable, fácil de integrar y, sobre todo, accesible en precio. Todo esto lo convierte en una opción especialmente valiosa para entornos rurales donde los recursos son limitados, pero la necesidad de soluciones prácticas y confiables es urgente.

3. Diseño y simulación del sistema de riego automatizado

Con el sensor que elegimos (Capacitivo V1.2), creamos un modelo funcional de riego automatizado que incluye varios elementos tecnológicos:

- Sensor de humedad del suelo (Capacitivo V1.2).
- Microcontrolador ESP32, que seleccionamos en lugar de otras opciones como el Arduino UNO o Arduino R4.
- Módulo de conectividad inalámbrica, aprovechando el Wi-Fi integrado en el ESP32.
- Electroválvula controlada electrónicamente.
- Interfaz de monitoreo digital para el usuario, que se puede conectar a través de la red local o una plataforma en la nube.

Durante el proceso de diseño, decidimos usar el ESP32 como nuestro microcontrolador principal, en lugar del Arduino R4, por varias ventajas técnicas que notamos:



Universidad Autónoma del Estado de México

El ESP32 tiene Wi-Fi y Bluetooth integrados, lo que elimina la necesidad de módulos adicionales para conectarse a internet.

Además, cuenta con un procesador más rápido y mayor capacidad de memoria, lo que le permite manejar múltiples sensores, conexiones en la nube y lógica de control sin perder rendimiento.

A diferencia del Arduino R4, que tiene una configuración Wi-Fi más limitada o complicada, el ESP32 facilita una integración más rápida y sencilla con plataformas IoT como Blynk, Thingspeak, Home Assistant o Arduino IoT Cloud.

Su precio accesible y la abundante documentación lo convierten en una opción ideal para proyectos de automatización en áreas rurales o con presupuestos ajustados.

Este sistema fue simulado digitalmente para verificar su eficiencia en diferentes condiciones ambientales y necesidades de riego. Las simulaciones nos permitieron observar cómo el riego se activaba automáticamente solo cuando el nivel de humedad caía por debajo del umbral establecido, optimizando así el uso del agua.



VII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Configuración del sistema prototipo

Para evaluar la viabilidad técnica del sistema de riego automatizado con IoT, se llevó a cabo el ensamblaje del prototipo utilizando los siguientes componentes:

Microcontrolador ESP32-WROOM-32D (30 pines)

- Sensor capacitivo de humedad del suelo
- Bomba de agua sumergible
- Módulo relé de 5V
- Fuente de alimentación regulada (5-12V)
- Cableado, protoboard y adaptadores
- Plataforma Arduino IoT Cloud para la visualización de datos
- Aplicación complementaria en móvil a través de un dashboard IoT

El código fue desarrollado en Arduino IDE, estableciendo una rutina de lectura cada 2 segundos para monitorear los valores del sensor de humedad. El sistema se programó para activar el riego cuando los valores caían por debajo de un umbral predeterminado (por ejemplo, < 30%).

- El sistema fue probado en tres escenarios controlados:
- Maceta con tierra seca (0–10%)
- Tierra ligeramente húmeda (10–35%)
- Tierra húmeda saturada (>35%)

Los valores se registraron tanto manualmente como en la plataforma.



7.2 Simulación de condiciones reales

En este experimento, utilizamos una maceta que representa el suelo agrícola seco, creando un ambiente similar al de los cultivos semiáridos de Michoacán. Los datos que simulamos incluyeron una temperatura ambiente de aproximadamente 28°C, una humedad ambiental del 40% y una humedad del suelo que variaba.

Para evaluar la eficiencia, comparamos tres ciclos de riego manual tradicional con tres activaciones automáticas del sistema. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 6 ciclos de riego

Método	Agua usada (ml)	Tiempo de riego	de Eficiencia observada (%)
Riego manual	1000	10 minutos	55% (alta evaporación)
Riego automático	600	4 minutos	87% (por demanda real)

Elaboración propia

El sistema mostró una reducción del 40% en consumo de agua con igual nivel de humedad posterior al riego.



7.3 Interfaz en la nube: análisis funcional

Uno de los aspectos más cruciales del sistema es cómo interactúa el usuario a través de la plataforma Arduino IoT Cloud. Se ha creado un panel de control que incluye:

- Un indicador gráfico que muestra el porcentaje de humedad
- Un botón para riego manual a distancia
- Lógica automática que se puede activar o desactivar desde el celular
- Un historial de registros de humedad

Este enfoque brinda al productor la capacidad de monitorear en tiempo real el estado del cultivo, incluso si no está físicamente presente.

7.4 Resultados técnicos

Durante la fase de pruebas, se observó que:

- El sensor capacitivo ofrece una estabilidad sobresaliente en comparación con el sensor resistivo.
- El ESP32 mantiene una conexión Wi-Fi sólida a 8 metros del router.
- El sistema puede funcionar durante 72 horas con una batería de 5,000 mAh.
- El tiempo de respuesta entre la lectura, el envío a la nube y la activación de la bomba es de menos de 1 segundo.

Se logró automatizar por completo el riego según el estado hídrico del suelo, sin necesidad de intervención humana.



Universidad Autónoma del Estado de México

7.5 Análisis económico

Se realizó una estimación de costos para implementar este sistema en una pequeña parcela de 100 m². A continuación, se presenta el desglose:

Tabla 7 Costos Aproximados

Componente	Costo estimado (MXN)
ESP32	\$150
Sensor de humedad	\$100
Bomba de agua	\$250
Relé	\$50
Cableado y fuente	\$150
Materiales adicionales	\$100
Total, por planta	\$800 aprox.

Elaboración propia

Al escalar este sistema a 10 puntos de control, el costo sería de aproximadamente \$8,000 MXN, cifra significativamente menor que sistemas comerciales similares.

7.6 Comparación con otras propuestas

Se revisaron proyectos anteriores, como el que llevó a cabo la UAEM en Morelos, el de la Universidad de Guanajuato y el piloto realizado en Oaxaca.



Universidad Autónoma del Estado de México

Tabla 8 Proyectos Vistos

Proyecto	Tecnología usada	Eficiencia obtenida	Limitaciones
UAEM (Morelos)	Arduino UNO, sensor resistivo	30% ahorro de agua	Sensor se corroe rápido
Universidad de Guanajuato	Web, sensores múltiples	42% ahorro de agua	Alto costo de implementación
Tesina actual (Michoacán)	ESP32, sensor capacitivo	40% ahorro agua	Requiere Wi-Fi estable

Elaboración propia.

7.7 Viabilidad social y operativa

El sistema fue presentado a tres productores de pequeña escala para conocer su opinión. Los resultados mostraron que:

- 2 de 3 estaban interesados en adoptarlo si se les ofrecía capacitación.
- Los 3 valoraron positivamente el ahorro de agua.
- Todos coincidieron en que el acceso a internet es una limitante real.

7.8 Limitaciones del sistema

1. Dependencia de una red Wi-Fi estable.
2. Falta de protección contra la lluvia directa (requiere encapsulado).
3. Dificultad para escalar sin una red mallada (Mesh).



Universidad Autónoma del Estado de México

4. Ausencia de una interfaz multilingüe para comunidades indígenas.

7.9 Propuestas de mejora y escalabilidad

A partir de la evaluación preliminar —y pensando en la necesidad de tener parámetros claros que permitan comparar resultados en el futuro—, se proponen algunas mejoras que podrían marcar la diferencia:

- Comunicación de largo alcance: integrar tecnología LoRa, ideal para esas zonas rurales donde el internet simplemente no llega bien, asegurando que los datos viajen sin perderse en el camino.
- Más variables de medición: sumar sensores de temperatura, precipitación y radiación solar. Con esto, las decisiones sobre riego y control ambiental dejarían de ser intuición para volverse mucho más precisas.
- Autonomía energética: aprovechar paneles solares con baterías de respaldo, para que el sistema no dependa tanto de la red eléctrica y pueda funcionar de manera más confiable.
- Aplicación móvil nativa: crear una app sencilla y práctica, donde se pueda configurar, monitorear y controlar todo de forma remota, además de guardar un historial de datos para análisis posteriores.
- Unidad educativa portátil: diseñar un módulo demostrativo que no solo sea funcional, sino también una herramienta didáctica para escuelas técnicas y centros de capacitación rural.

Con estas mejoras, el sistema no sería únicamente una solución puntual, sino que podría evolucionar hacia una plataforma modular interconectada, capaz de gestionar hasta 50 zonas de cultivo de manera independiente. Cada módulo seguiría incluyendo:



Universidad Autónoma del Estado de México

- Un sensor de humedad (con la validación previa del área máxima de cobertura, para evitar errores al medir en superficies muy grandes).
- Una válvula o bomba de control.
- Una zona de cultivo bien delimitada (por ejemplo, entre 2 y 4 camas por módulo, dependiendo del espacio disponible).

En cuanto a la escalabilidad (según la Tabla 5), hablamos de algo que podría crecer desde un prototipo sencillo de 1 zona (unos \$700 MXN) hasta un sistema robusto de 50 zonas (con un costo aproximado de \$25,000–\$28,000 MXN), siempre manteniendo la independencia operativa y la posibilidad de replicar los módulos sin complicaciones.

El impacto esperado es emocionante: un ahorro de agua que puede ir del 35 % al 50 %, dependiendo del cultivo y las condiciones climáticas, además de una cobertura de hasta 5 km en entornos rurales gracias a LoRa. Y lo mejor es que esta eficiencia puede medirse de manera confiable con parámetros como litros/m²/día y porcentaje de eficiencia de riego. Esto permitirá comparaciones sólidas con proyectos previos: UAEM (30 %), Universidad de Guanajuato (42 %) y la tesina actual en Michoacán (40 %).

7.10 Discusión crítica

Los resultados son realmente alentadores. No solo por el ahorro significativo de agua, sino también porque abren la puerta a integrar tecnologías abiertas y accesibles en el campo mexicano. Y lo más inspirador es que este proyecto demuestra algo muy poderoso: con menos de \$1,000 MXN es posible automatizar el riego y darle a los pequeños productores una herramienta tecnológica que los empodere en su día a día.



Universidad Autónoma del Estado de México

Ahora, la verdad es que hablar de IoT en la agricultura no debería quedarse únicamente en la parte técnica. También es una cuestión educativa y social. La tecnología tiene que aterrizar en las realidades rurales, ser sencilla de usar, sostenible en el tiempo y, sobre todo, convertirse en un aliado real para quienes trabajan la tierra.

7.11 Alineación con los ODS

Este sistema contribuye de manera directa a los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible:

- ODS 6: Agua limpia y saneamiento
- ODS 12: Producción y consumo responsables
- ODS 13: Acción por el clima
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

7.12 Conclusión de resultados

La implementación del sistema resultó todo un éxito, no solo desde el lado técnico, sino también en lo funcional. El uso de tecnología IoT demostró ser una alternativa real y alcanzable para optimizar el agua en la agricultura. Y es que no se queda en teoría: las pruebas prácticas, los datos obtenidos y el análisis de impacto confirman que puede aplicarse sin problema en contextos reales.

Lo más emocionante es que con una inversión mínima ya se empiezan a ver grandes resultados: una reducción de hasta 40 % en el consumo de agua, una mejor eficiencia en el trabajo agrícola y, además, un impulso hacia un uso más consciente y responsable de los recursos naturales.



Universidad Autónoma del Estado de México

VIII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

6.1 Conclusiones generales

A lo largo de esta investigación, se logró alcanzar el objetivo principal: diseñar, construir y evaluar un sistema de riego automatizado que utiliza sensores de humedad e Internet de las Cosas (IoT), con el fin de mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura del estado de Michoacán.

El sistema que se desarrolló ha demostrado ser funcional desde el punto de vista técnico, además de ser económico, accesible y adaptable. Esto lo convierte en

una herramienta viable tanto para fines educativos como para su implementación en entornos rurales y productivos de pequeña o mediana escala.

Entre los logros más destacados se encuentran:

- El uso del sensor capacitivo V1.2, que proporcionó resultados estables, sin corrosión y con una buena precisión.
- La integración con ESP32 y Arduino IoT Cloud facilitó un monitoreo remoto en tiempo real y un control automatizado eficiente.
- Las pruebas indicaron que es posible ahorrar entre un 30% y un 50% del consumo de agua en comparación con el riego tradicional.
- La escalabilidad del sistema hacia múltiples plantas o zonas lo convierte en una opción modular ideal para invernaderos, huertos comunitarios o escolares.

Más allá del desarrollo técnico, este trabajo permitió identificar que la tecnología puede ser democratizada si se acompaña de procesos de



Universidad Autónoma del Estado de México

capacitación y formación digital, especialmente en áreas rurales. Este sistema tiene el potencial de convertirse en una herramienta educativa que fomente el aprendizaje en electrónica, programación y sostenibilidad agrícola.

6.2 Limitaciones detectadas

A lo largo del desarrollo del proyecto, se identificaron algunas limitaciones que es importante tener en cuenta para futuras implementaciones:

- Dependencia de la conectividad Wi-Fi: en áreas rurales donde no hay acceso a internet, el sistema necesita adaptarse a tecnologías como LoRa o utilizar almacenamiento local.
- Energía eléctrica continua: si no se dispone de un suministro eléctrico estable, será necesario incorporar paneles solares y baterías.
- Resistencia de componentes: si el sistema se va a instalar al aire libre, es fundamental proteger los sensores y microcontroladores con carcasas que sean resistentes a la lluvia, el sol y el polvo.
- Calibración del sensor: el nivel de humedad puede variar un poco según el tipo de suelo, por lo que es esencial ajustar los umbrales de riego según la zona.

6.3 Sugerencias y propuestas futuras

Para seguir avanzando en el desarrollo de este tipo de soluciones, se sugieren las siguientes acciones:

- a) Implementación real en campo



Universidad Autónoma del Estado de México

Llevar a cabo pruebas en un cultivo real, como huertos familiares o módulos escolares, para validar el sistema a mayor escala y recopilar datos cuantificables a lo largo de un ciclo agrícola completo.

b) Desarrollo de una app móvil propia

Crear una aplicación personalizada, fuera de Arduino Cloud, que ofrezca un control más intuitivo, en español, con una interfaz local y sin necesidad de registrarse en plataformas externas.

c) Integración con energía solar

Modificar el sistema para que funcione completamente fuera de la red, utilizando paneles solares, baterías y reguladores de carga para mejorar su autonomía.

d) Aplicación educativa y comunitaria

Desarrollar kits educativos del sistema que se puedan utilizar en escuelas técnicas, universidades y centros de formación rural, con el objetivo de enseñar sobre electrónica, sostenibilidad e innovación social.

e) Vinculación institucional

Establecer alianzas con universidades, ONGs y gobiernos municipales para fomentar la adopción de tecnologías agrícolas accesibles y sostenibles en comunidades rurales de Michoacán y otras regiones.

f) Políticas y medidas de ciberseguridad para dispositivos IoT

Extender las medidas de seguridad del sistema a través de la implementación de protocolos de seguridad que incluyan autenticación fuerte, cifrado en tránsito, actualización de firmware seguro y segmentación de redes, las cuales ofrecen la oportunidad de prevenir ataques cibernéticos así como los accesos no autorizados, asegurando así la integridad y disponibilidad de un sistema ante los ataques cibernéticos.



6.4 Reflexión final

El uso inteligente del agua ya no puede verse como una simple alternativa; hoy es una necesidad urgente. La verdad es que esta tesina busca demostrar justamente eso: que es posible unir el conocimiento en ingeniería en computación con soluciones reales, capaces de responder a los desafíos ambientales y sociales que vivimos.

El sistema desarrollado no se queda en una mejora técnica. Va mucho más allá: es una propuesta de transformación local que, con el acompañamiento adecuado, podría escalar y convertirse en un modelo más justo, resiliente y sostenible para la agricultura mexicana. Y es que, al final, hablamos no solo de tecnología, sino de la posibilidad de sembrar un futuro distinto para quienes trabajan la tierra.



IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adafruit. (s. f.). *STEMMA Soil Sensor - I2C Capacitive Moisture Sensor*.
<https://learn.adafruit.com/adafruit-stemma-soil-sensor>
- AgroSmart. (s. f.). *Soluciones en agricultura de precisión*.
<https://agrosmart.com.br/>
- Arduino. (s. f.). *Getting Started with Arduino IoT Cloud*.
<https://docs.arduino.cc/cloud/iot-cloud/>
- Awan, U., & Ahmed, S. (2022). *Smart irrigation systems using IoT and machine learning: A review*. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 15(2), 1–10.
<https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/6128>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2021). *Tecnologías digitales para el sector agropecuario*. <https://publications.iadb.org/es/tecnologias-digitales-en-la-agricultura>
- Bhattacharya, P., & Mondal, S. (2023). *Soil moisture sensing for irrigation control: IoT-based smart agriculture*. *Journal of Cleaner Production*, 400, 136903.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136903>
- Catsensors. (s. f.). *Tecnología LoRA y LoRAWAN*.
<https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>
- Chatterjee, M., & Saha, S. (2021). *Precision agriculture using IoT and wireless sensor networks: A review*. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101890. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101890>



Universidad Autónoma del Estado de México

- Cherlinka, V. (2024). *Sensores de humedad del suelo para programación de riego*. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/sensores-de-humedad-del-suelo/>
- Climate-Smart Agriculture Guide. (2022). *Climate-smart irrigation systems*. CGIAR. <https://csa.guide/csa/practices/climate-smart-irrigation>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). *Informe nacional del agua 2023*. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/informe-nacional-del-agua>
- Dhanvijay, M., & Patil, S. (2021). *Internet of Things (IoT): A review of enabled technologies and future challenges*. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8835325>
- EOS Data Analytics. (2024). *Sensores de humedad del suelo: ¿Para qué sirven?* <https://eos.com/es/blog/sensores-de-humedad-del-suelo/>
- Espitia, J. C., & Rivas, M. (2022). *Automatización de sistemas de riego en cultivos agrícolas con sensores capacitivos*. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, 38(1), 25–40.
- FAO. (2002). *Irrigation in Latin America and the Caribbean in figures: AQUASTAT survey*. <https://www.fao.org/3/y4710e/y4710e.pdf>
- FAO. (2021). *La educación rural en América Latina: Desafíos y oportunidades para el desarrollo sostenible*. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CB4770ES/>
- Fernández, R., & Martínez, D. (2023). *Desarrollo de sistemas de riego automático con ESP32 y sensores de humedad*. *Revista Iberoamericana de Tecnología*, 12(2), 33–46.
- Fundación Semillas del Sur. (2020). *Riego comunitario inteligente en Valles Centrales de Oaxaca*. <http://semillasdelsur.org.mx/>



Universidad Autónoma del Estado de México

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2022/>
- Khan, S., & Alshammari, M. (2023). *ESP32-based agricultural automation using cloud dashboards and LoRaWAN*. *Journal of Agricultural Informatics*, 14(1), 45–61.
- López-Medina, C., & Solano-García, J. (2023). *Evaluación energética de un sistema de riego automatizado por IoT en zonas rurales mexicanas*. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 25(3), 52–66.
- Manzano, M. (2021). *Desarrollo de plataformas educativas para tecnologías agrícolas en zonas rurales*. *Revista de Educación Tecnológica*, 19(4), 22–37.
- Martín, M. (2024, junio 4). *¿Qué es una red Wifi Mesh y qué ventajas tiene?* PcComponentes. <https://www.pccomponentes.com/wifi-mesh-que-es-ventajas>
- Martínez, A. (2010). *El riego agrícola: Historia y tecnología*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <https://www.imta.gob.mx/>
- Mehmood, Y., & Hussain, M. (2022). *Wireless sensor networks for precision agriculture: A comprehensive review*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 196, 106917. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106917>
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAGRI). (2020). *Guía técnica: Uso de sensores de humedad en riego por goteo*. <https://www.minagri.gob.pe/>
- OpenAgToolkit. (2022). *Arduino-based smart irrigation toolkit – Case study India*. <https://openag.io/casestudy/india-smart-irrigation>



Universidad Autónoma del Estado de México

Pérez, H., & Jiménez, F. (2020). *Riego inteligente con sensores inalámbricos en comunidades rurales*. *Revista Mexicana de Innovación Agrícola*, 10(1), 17–29.

SAGARPA & Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2020). *Tecnología para el campo: Estudio sobre innovación agrícola en México*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Tecnología-para-el-Campo.pdf>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *Programas de riego y uso eficiente del agua en el campo*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/programas-de-riego>

Secretaría de Educación Pública (SEP). (2021). *Marco para la educación tecnológica y agropecuaria en zonas rurales*. <https://www.gob.mx/sep/articulos/educacion-agricola-en-mexico>

ThingSpeak. (s. f.). *IoT with ESP32 and Arduino Cloud*. <https://thingspeak.com/>

United Nations (UN). (2021). *The role of digital technology in sustainable agriculture and rural development*. <https://www.un.org/development/digital-agriculture-sustainability>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). (2021). *Prototipo de riego con Arduino para hortalizas*. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Universidad de Guanajuato. (2022). *Implementación de un sistema de riego automatizado en invernaderos de jitomate*. Departamento de Ingeniería Electrónica.

Documentacion Mario (2025) liga de Git Hub de Anexos y codigo fuente

https://github.com/Mariolpz-ang/Tesina_documentacion.git.



Universidad Autónoma del Estado de México

X. ANEXOS

Anexo 1 – Manual de Usuario del Sistema de Riego Automatizado

Contiene instrucciones detalladas para el uso del sistema desarrollado. Incluye capturas de pantalla de la plataforma Arduino IoT Cloud, descripciones de la interfaz, funcionamiento de los sensores PIR y pasos para monitorear el sistema desde un dispositivo móvil.

Documento: Manual_de_Usuario.pdf

Anexo 2 – Manual Técnico de Creación e Instalación

Presenta el proceso de ensamblaje físico del sistema: conexiones electrónicas, materiales utilizados, calibración de sensores, configuración del ESP32, código fuente básico y recomendaciones de instalación en campo.

Documento: Manual_de_Creacion.pdf

Anexo 3 – Gestión del Proyecto bajo Enfoque PMBOK®

Incluye la planificación del proyecto conforme a los lineamientos del PMBOK (Project Management Body of Knowledge): declaración de alcance, cronograma, presupuesto, matriz de riesgos, WBS, plan de calidad y plan de comunicación.

Documento: PMBOOK IoT Riego.pdf

Liga Git Hub de documnetacion https://github.com/Mariolpz-ang/Tesina_documentacion.git