



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

IMPLEMENTACIÓN DE UN INDICADOR DE NIVEL DE AGUA PARA RIEGO AUTOMATIZADO EN HUERTOS DE TRASPATIO UTILIZANDO IOT EN TANQUES DE FERROCEMENTO

IMPLEMENTATION OF A WATER LEVEL INDICATOR FOR AUTOMATED IRRIGATION IN BACKYARD GARDENS USING IOT IN FERROCONCRETE TANKS

Janet Guadalupe Pech de la Portilla

Tecnológico Nacional de México Campus Conkal

Mario Rodolfo Chan Chi

Tecnológico Nacional de México Campus Conkal

Carlos Humberto López May

Tecnológico Nacional de México Campus Conkal

Javier Antonio Martín Vela

Tecnológico Nacional de México Campus Conkal

Jesús Efraín Pech Lara

Tecnológico Nacional de México Campus Conkal

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14123

Implementación de un indicador de nivel de agua para riego automatizado en huertos de traspatio utilizando IoT en tanques de ferrocemento

Janet Guadalupe Pech de la Portilla¹janet.pd@conkal.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0002-1035-5054>Tecnológico Nacional de México, Campus
Conkal
México**Mario Rodolfo Chan Chi**mario.cc@conkal.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0006-4301-1406>Tecnológico Nacional de México, Campus
Conkal
México**Carlos Humberto López May**carlos.lm@conkal.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0005-8777-992X>Tecnológico Nacional de México, Campus
Conkal
México**Javier Antonio Martín Vela**javier.mv@conkal.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0002-9478-2343>Tecnológico Nacional de México, Campus
Conkal
México**Jesús Efraín Pech Lara**L19800316@conkal.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0001-6884-5670>Tecnológico Nacional de México, Campus
Conkal
México

RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo apoyar la actividad agrícola en beneficio de familias maya hablantes que habitan en comunidades rurales, ayudando en la producción de alimentos para su propio consumo y comercialización, generando un apoyo a su economía familiar y autoempleo. La investigación responde a la necesidad de optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia del riego en entornos rurales, donde los recursos hídricos son escasos, llegando incluso a recibir el servicio de agua potable por las mañanas o tardes durante un tiempo muy corto, por lo que los pobladores recolectan el agua en diversos contenedores para su posterior uso, priorizando según sus necesidades donde utilizarlo. Se empleó una metodología cualitativa que facilitó la observación del impacto del prototipo basado en un microcontrolador ESP32 para el llenado de los tanques. Como resultado, se desarrollaron prototipos que ayudaron en el suministro y control de los niveles de agua en los tanques de ferrocemento, permitiendo una mejor optimización y uso del agua. En conclusión, el trabajo resalta cómo la integración de tecnologías IoT en la agricultura contribuye a prácticas de riego más sostenibles y eficientes, promoviendo un uso responsable de los recursos hídricos y mejorando la productividad de los cultivos en espacios reducidos.

Palabras claves: IoT, ESP32, tecnología LORA, huertos de traspatios, sensores

¹ Autor principal.

Correspondencia: carlos.lm@conkal.tecnm.mx

Implementation of a water level indicator for automated irrigation in backyard gardens using IoT in ferroconcrete tanks

ABSTRACT

The objective of the project is to support agricultural activity for the benefit of Mayan-speaking families living in rural communities, helping them produce food for their own consumption and marketing, generating support for their family economy and self-employment. The research responds to the need to optimize the use of water and improve the efficiency of irrigation in rural environments, where water resources are scarce, even receiving drinking water service in the mornings or evenings for a very short time, so the villagers collect water in various containers for later use, prioritizing according to their needs where to use it. A qualitative methodology was used to facilitate the observation of the impact of the prototype based on an ESP32 microcontroller for filling the tanks. As a result, prototypes were developed that helped in the supply and control of water levels in the ferrocement tanks, allowing a better optimization and use of water. In conclusion, the work highlights how the integration of IoT technologies in agriculture contributes to more sustainable and efficient irrigation practices, promoting a responsible use of water resources and improving crop productivity in reduced spaces.

Keywords: IoT, ESP32, LORA technology, backyard gardens, sensors

*Artículo recibido 08 septiembre 2024
Aceptado para publicación: 12 octubre 2024*



Introducción.

En el Plan Nacional de Desarrollo (PND 2019-2024) se encuentra establecido el Programa Nacional Hídrico (PNH 2020-2024), este programa está encaminado a enfrentar los problemas del agua para reducir las brechas de inequidad, avanzar en la seguridad hídrica con un enfoque de derechos humanos que coloca en el centro de las prioridades a las personas, bajo las perspectivas territorial, multisectorial y transversal. Este programa ha decretado que ha disminuido en un 59% la disponibilidad de agua en la península de Yucatán. En la publicación realizada por la revista Forbes México 2022 se señala “En 2003, se tenía una disponibilidad de 5,759 millones de metros cúbicos por año, para 2020, descendió a 2,386.92 millones de metros cúbicos por año, es decir, un 58.6% menos, lo cual como se indicó anteriormente fue decretado por el PNH, a través del Consejo de Cuenca Península de Yucatán, donde se detalla el estado de salud del agua en la región de Yucatán, así como balances sobre su disponibilidad y prospectivas, indicando que de continuar con esta tendencia en 15 años se presentaría una situación alarmante”.

Mejen T´aano´ob Pequeñas Voces A.C. impulsa un proceso educativo popular integrado por mujeres e infantes de la comunidad maya, realizando acciones para el cuidado, defensa y reactivación del territorio familiar, dentro de estas acciones se realizan actividades que apoyan a la economía familiar al trabajar en la regeneración de los solares de las casas o terrenos, diversificando sus actividades agrícolas como la siembra de hortalizas, tubérculos, árboles frutales, maíz, plantas medicinales y plantas melíferas. Todas estas enseñanzas parten desde el conocimiento indígena, la agricultura regenerativa y la agroecología. “Actualmente, estamos trabajando en un proyecto para mejorar las condiciones del suelo y superar el problema del abastecimiento de agua, todo esto a través del uso de captadores de agua de lluvia” (M. Rame, comunicación personal, 20 Enero de 2024).

En este estudio, docentes del TecNM campus Conkal, a través de un proyecto de investigación apoyan en coordinación con la asociación civil Mejen T´aano´ob Pequeñas Voces a desarrollar tecnología IoT, con la finalidad de apoyar, específicamente en la comisaría de Cholul así como en la cabecera municipal de Cantamayec, Yucatán resolviendo los problemas de disponibilidad y administración del agua en los huertos familiares, implementando un sensor con indicador de nivel de agua y automatizando el riego en los huertos de traspatio.



En la búsqueda de información reciente sobre esta problemática, se encontró que existe un sesgo en la reflexión social e histórica sobre los usos del agua en México y principalmente en estudios enfocados en el Sureste del país. La escasa investigación sobre el problema hídrico en Yucatán es parte de este sesgo. Se han hecho varias investigaciones en la entidad respecto a la agricultura de riego, pero se han concentrado en la región Sur, donde han tenido lugar los proyectos gubernamentales de irrigación más extensos de la entidad, entre ellos el Plan Chac, en comunidades mayas en el estado de Yucatán (INEGI, 2017). Más allá de esta zona, existe menos investigación sobre el papel del riego en Yucatán. (Cortés et al., 2019).

En la búsqueda de información que ampare la validez e importancia de este proyecto en la implementación de prototipos para el cuidado del agua se analizaron tendencias actuales que han surgido en la implementación de tecnologías de riego automatizado utilizando IoT en contextos agrícolas, encontrando aportaciones de gran utilidad donde se mencionan la importancia y utilidad que proporciona el uso de tecnología IoT en la gestión eficiente del agua utilizada en los cultivos. Dentro de este contexto se menciona a Kumar et al., (2021) y Ahmed et al., (2022), ellos comentan en sus publicaciones el creciente interés en la implementación de tecnologías IoT para la gestión eficiente del agua en la agricultura. Expresan en su investigación como diversos estudios han demostrado que el uso de los sensores de nivel de agua, conectados a plataformas IoT, pueden facilitar el monitoreo en tiempo real y la automatización del riego. De la misma manera Fernández et al., (2023) indica que la automatización del riego no solo optimiza el uso del agua, sino que también mejora la productividad de los cultivos. Resalta otras investigaciones donde se destaca la efectividad de sistemas automatizados que ajustan el riego en función de la humedad del suelo y otros parámetros ambientales, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles. Cabe aclarar que también se suscitan problemas con los sistemas IoT como nos comenta Martínez et al., (2024) el cual indica que, a pesar de los beneficios, la implementación de sistemas IoT para riego automatizado enfrenta desafíos, como la disponibilidad de infraestructura tecnológica y la capacitación de los agricultores. Estudios recientes sugieren que es crucial abordar estas barreras para asegurar la adopción efectiva de estas tecnologías en huertos de traspatio.



Afortunadamente, este prototipo a implementar es de bajo costo por lo que las familias no requieren hacer una inversión fuerte y la capacitación está considerada dentro de la instalación de estos prototipos. El objetivo a seguir con este proyecto es que con la implementación de esta tecnología se logre una mejora significativa en el uso del agua. En este tenor nos encontramos a Ramírez et al., (2022) el cual comenta en su investigación sobre la documentación de varios casos de estudio en diferentes regiones donde se han implementado soluciones IoT para el riego automatizado. Estos estudios han mostrado mejoras significativas en la eficiencia del uso del agua y en la producción agrícola, lo que resalta el potencial de estas tecnologías en contextos rurales.

En este proyecto de investigación se destaca el uso de tanques de ferrocemento implementado como alternativa para captar agua de lluvia permitiendo a las familias captarla y almacenarla para uso agrícola en períodos de escasez. La importancia de su utilización es destacada por López et al., (2021) donde en su investigación indica que el uso de tanques de ferrocemento ha sido reconocido como una solución eficiente y económica para la recolección y almacenamiento de agua en regiones con limitaciones hídricas. Estos tanques presentan ventajas en términos de durabilidad y resistencia, y se están integrando cada vez más en proyectos de agricultura familiar. De igual manera Martínez et al., (2022) destaca que se han documentado el uso de tanques de ferrocemento en huertos familiares, donde estos sistemas permiten la recolección de agua de lluvia y su almacenamiento para riego durante períodos secos. Esto ha mostrado un impacto positivo en la producción agrícola y la seguridad alimentaria en comunidades rurales. La investigación de González et al., (2023) nos indica que la combinación de tanques de ferrocemento con sistemas de riego automatizado y tecnologías IoT está emergiendo como una estrategia eficaz para optimizar el uso del agua. Investigaciones han resaltado cómo estos tanques pueden ser monitoreados y gestionados de manera eficiente, mejorando así la disponibilidad de agua para los cultivos. En la investigación presentada por Ramírez et al., (2024), señala que el uso de tanques de ferrocemento no solo aborda los problemas de disponibilidad de agua, sino que también fomenta prácticas agrícolas sostenibles. Estudios recientes han mostrado que su implementación en huertos familiares reduce la dependencia de fuentes de agua externas y mejora la resiliencia de las comunidades frente a cambios climáticos. Sin embargo, es importante mencionar que el uso de estos tanques de ferrocemento tiene una inversión inicial al realizar el tanque, de igual

manera el mantenimiento que se les debe de dar es muy importante, es por ello que, en la investigación de Sánchez et al., (2020), explica que a pesar de sus beneficios, la adopción de tanques de ferrocemento enfrenta desafíos, incluyendo la necesidad de capacitación en su construcción y mantenimiento. Algunos estudios sugieren que es fundamental proporcionar formación técnica a los agricultores para maximizar los beneficios de estos sistemas.

Finalmente, en este proyecto se trabajó con el experimento de los vasos comunicantes, el cuál apoya para tener una idea clara del nivel de líquido que se tienen en el tanque. Las investigaciones han destacado la eficacia de este experimento. Para ello se presenta a Chipana et al. (2024) el cual comenta en su investigación que la escasez de agua y la creciente demanda de alimentos imponen la utilización de tecnologías más eficientes en el regadío. Por tal motivo, se abordaron los fundamentos hídricos e hidráulicos del riego subsuperficial a demanda mediante vasos comunicantes (RSVC). En referencia a la temática de los vasos comunicantes Luna (2023) indica en su investigación que el riego subsuperficial, es una alternativa para incrementar la productividad del agua en la agricultura, tomando en cuenta que se genera una eficiencia hídrica en la zona de la raíz. El agua es un elemento vital que al pasar los años ha empezado a escasear por efectos del Cambio Climático, reducción de precipitaciones y debido a causas antrópicas relacionadas con la inadecuada gestión del agua de riego. Bajo este contexto, es necesario implementar nuevas alternativas en el cual se considere el ahorro de agua y se disminuya el consumo por parte de los cultivos. Una de estas alternativas fue implementar un sistema mediante vasos comunicantes; al final observamos la investigación de Quispe (2024) que indica que el uso de sustratos inertes y la implementación de técnicas de riego eficientes son alternativas que se pueden considerar en vez de usar suelos degradados o cuando hay escasez de agua. El objetivo del presente estudio fue evaluar el cultivo hidropónico de dos variedades de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) en dos tipos de sustratos inertes, bajo el sistema de riego subsuperficial mediante vasos comunicantes en ambiente atemperado.

Con todo lo anterior expuesto se observa la importancia de la automatización del riego en los huertos familiares apoyándose de tecnología IoT, usando un indicador de nivel de agua en tanques de ferrocemento, representa una estrategia prometedora para mejorar la gestión del agua en la agricultura. La integración de estas tecnologías no solo ofrece soluciones a problemas hídricos, sino que también



promueve la sostenibilidad y la resiliencia de las comunidades agrícolas. Logrando con esto el objetivo principal de este estudio al apoyar necesidades específicas de las familias en sus huertos familiares, con la finalidad de que produzcan sus propios alimentos; apoyando a garantizar la soberanía alimentaria y evitando posibles crisis a falta de su principal insumo que es el agua necesaria para fortalecer sus cultivos. El hecho de que cada familia pueda cosechar lo que consumirá, es un objetivo que también se pretende alcanzar al cuidar el consumo del agua. Por lo que el desarrollo de esta tecnología apoyara a minimizar los problemas de insuficiencia de estos servicios, los cuales impactan sobre todo en la agricultura afectando las parcelas donde se necesita un riego constante y controlado, para que los productos cultivados no se dañen o lo que es peor no se pierdan en su totalidad; llevando consigo pérdidas económicas a la familia dedicada a la siembra. La investigación de esta problemática se realizó por el interés social de apoyar junto con la asociación civil Mejen T'aano'ob, a estos grupos de familia maya hablantes que se dedican a la agricultura en espacios reducidos dentro de los patios de sus propias viviendas, considerando que con el desarrollo de estos prototipos con tecnología IoT se solventará la necesidad del agua y su uso eficiente apoyándose en el uso de energías limpias, a través de la automatización de un sector, utilizando un sistema de riego, el mismo que controlará las diferentes áreas de siembra mediante la implementación de varios componentes que interactuarán con un dispositivo central que tomará las decisiones dependiendo de las necesidades de riego, logrando con esto aumentar el uso eficiente del agua y evitando el desperdicio de este recurso.

METODOLOGÍA

La escasez de agua es un desafío creciente en la agricultura, particularmente en zonas rurales donde los huertos de traspatio son un medio de vida. Este estudio aborda la necesidad de sistemas de riego más eficientes y sostenibles mediante la implementación de un indicador de nivel de agua automatizado, aprovechando las capacidades de IoT en tanques de ferrocemento, una solución constructiva, robusta y económica. Para la realización de este proyecto se trabajó con un enfoque cualitativo al partir de la premisa del lograr una mejora en la gestión ineficiente del agua en huertos de traspatio que existe actualmente, la cual limita la productividad y sostenibilidad de los mismos. Para llevar a cabo esta investigación se realizaron diversas actividades como evaluar las prácticas actuales



de riego que llevan las familias, identificar la percepción de las señoras que realizan estas actividades agrícolas sobre el uso de IoT y finalmente diseñar un indicador de nivel de agua que responda a las necesidades locales de las comunidades de Cholul y la cabecera municipal Cantamayec, respectivamente.

Análisis del contexto

La utilización de la metodología cualitativa presenta múltiples beneficios, que son clave para el éxito del proyecto. La primera etapa consistió en conocer y comprender cada una de las particularidades de los huertos de traspatio donde se llevaría a cabo este proyecto en apoyo al entorno agrícola de las familias, incluyendo las prácticas culturales y las condiciones socioeconómicas de las familias beneficiadas con el proyecto. Esto aseguró que el prototipo a desarrollar sea relevante y adaptado a las necesidades específicas de cada familia.

Selección de la muestra

Se trabajó con tres familias las cuales se encuentran dos en Cholul y una en la cabecera municipal de Cantamayec. Los criterios de inclusión en esta muestra fueron la experiencia que mostraron para preparar sus terrenos y organizarse para adecuar la infraestructura requerida al implementar el prototipo de riego, también se tomó en cuenta el tamaño de sus huertos con los que se trabajaría. En las figuras 1 y 2 observamos como se encontraba el terreno antes de iniciar los trabajos de automatización del riego.

Figura 1. Ilustración del terreno en Cholul



Figura 2. Ilustración del terreno en Cantamayec



Recolección de datos

Se realizaron reuniones con las señoras para identificar las necesidades y expectativas que requieren en el apoyo a sus huertos de traspatio, sobre todo se les explicó el aporte que les daría la tecnología al ser utilizada para el control del agua que utilizan en su riego y la ayuda que proporcionará ante la

escasez que se les presenta constantemente, el uso de sus tanques de ferrocemento. Este tipo de reuniones promovió la participación activa y participativa de las mujeres e incluso de los esposos que se unieron a las reuniones aportando ideas, así como sus dudas al ser personas que no se encuentran muy familiarizadas con el uso de la tecnología IoT, otra preocupación que se tenía por parte de las familias beneficiadas eran los costos que tendrían que realizar para adaptar sus terrenos al sistema de automatización. Se les explicó que los costos serían los mínimos requeridos para ello y junto con la asociación civil se les apoyaría en la construcción de sus tanques de ferrocemento para acumular el agua de lluvia que utilizarían para el riego de sus hortalizas. Las figuras 3 y 4 muestran las reuniones que se tuvieron con las familias beneficiadas en este proyecto, una vez determinadas las condiciones mínimas necesarias para llevarse a cabo.

Figura 3. Reunión con las familias beneficiadas



Figura 4. Reunión para validar la infraestructura actual



Análisis de la información

Toda la información cualitativa que se obtuvo de las reuniones, los apuntes que se recopilaron al observar los terrenos, tuberías instaladas, fuentes alternas para recaudar agua, espacios para la construcción de los tanques de ferrocemento, condiciones para disponer de energía eléctrica en donde se instalaría el prototipo, etc., fueron transcritos y analizados mediante un análisis temático, identificando patrones recurrentes de los principales problemas que se les presenta a las señoras

cuando realizan el riego de sus hortalizas, todo esto con el propósito de identificar las principales necesidades que existen en los traspatios y lograr una mayor eficiencia en el riego, durante las reuniones realizadas se logró que las personas tengan una disposición más abierta hacia la adopción de la tecnología. Es importante señalar que la recopilación de todos estos datos permitió realizar ajustes en tiempo real del diseño del prototipo de indicador de nivel de agua, basándose en la retroalimentación de los usuarios, los cuales indicaron que el tanque de ferrocemento sería llenado exclusivamente con aguas pluviales y en épocas de sequía se le adaptaría una salida al prototipo para el riego con agua potable que surte el H. Ayuntamiento a sus pobladores. Esto lleva a un desarrollo más iterativo y adaptable a las necesidades de los habitantes del municipio.

En el caso de los tanques de ferrocementos, las familias beneficiadas recibieron apoyo y asesoría por parte de la A.C. Mejen T'aano'ob Pequeñas Voces; quienes expusieron que el uso de ferrocemento, constituye una tecnología aplicable a la construcción de tanques de agua y utiliza materiales de fácil acceso para los usuarios, adecuando los productos necesarios para su implementación dentro del mercado local y nacional adaptándose sin problema para ser utilizados en el sector rural, debido a su menor costo. El ferrocemento es un material similar al concreto reforzado, que consiste en una capa de mortero de cemento de espesor delgado, reforzado con malla de alambre o de un emparrillado de acero de diámetro pequeño, debidamente ligados para obtener una estructura rígida. Es una alternativa económica de construcción que responde satisfactoriamente a las exigencias técnicas de tanques de almacenamiento de agua. La construcción de tanques para el almacenamiento de agua pluvial utilizando ferrocemento, presenta las siguientes ventajas técnicas, económicas y sociales:

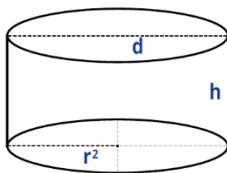
- Facilidad del proceso constructivo con ferrocemento, cuya matriz (integrada por materiales frágiles) se refuerza con fibras metálicas a través de un compuesto formado por cemento y arena.
- Versatilidad de aplicación en productos de cualquier tamaño y forma. Amplia capacidad de adaptación a diversas condiciones climáticas y a las costumbres tradicionales de cada zona de intervención.
- Sencillez de las técnicas de construcción, de fácil aprendizaje y adaptación a sistemas de autoayuda.



- Incentiva la participación activa y solidaria de las familias en el proceso de construcción.
- Menor costo, por el uso de materiales más baratos y accesibles (se puede encontrar todos los materiales en la zona.
- Consistencia en el tiempo, de igual duración que el concreto armado.
- Fácil manejo en cuanto a limpieza y mantenimiento.
- Adaptación en cuanto al tamaño del tanque en relación a la cantidad de volumen de agua que se requiera captar.

La estructura circular del diseño hace al tanque más resistente a la presión del agua almacenada en su interior. Las dimensiones del tanque se estimaron para almacenar aproximadamente (\approx) 14,000 litros de agua pluvial. Por lo que para realizar este cálculo se siguió la siguiente fórmula: $\pi \times r^2 \times h = VC$ (volumen del cilindro). La figura 5 muestra la fórmula utilizada para estos cálculos.

Figura 5. Representación matemática del cilindro



Dónde:

π = 3,14 (número pi)

r^2 = radio del cilindro (m²)

h = altura del cilindro (m)

d = diámetro del cilindro (m)

Para un tanque de aproximadamente (\approx) 14,000 litros equivalentes a un $VC=13.92 \text{ m}^3$ (metros cúbicos o cubos) debe tener una altura (h) de 1.70 m y un diámetro (d) de 3.23 m, del cual el radio (r^2) sería la mitad, es decir, 1.615 m. Aplicando la fórmula tendríamos: $\pi \times r^2 \times h = VC$ equivale a $3.14 \times 1.615 \text{ m}^2 \times 1.70 \text{ m} = 13.92 \text{ m}^3$. El grosor del tanque es de 5 cm. A continuación, se muestran imágenes donde se puede observar a las familias trabajando en la construcción de los tanques de ferrocemento en los solares de sus viviendas. En la figura 6, 7 y 8 se observa la construcción de los tanques en las viviendas beneficiadas.

Figura 6. Colocación de la malla de alambre galvanizado



Figura 7. Colocación de la malla y Revestimiento al tanque



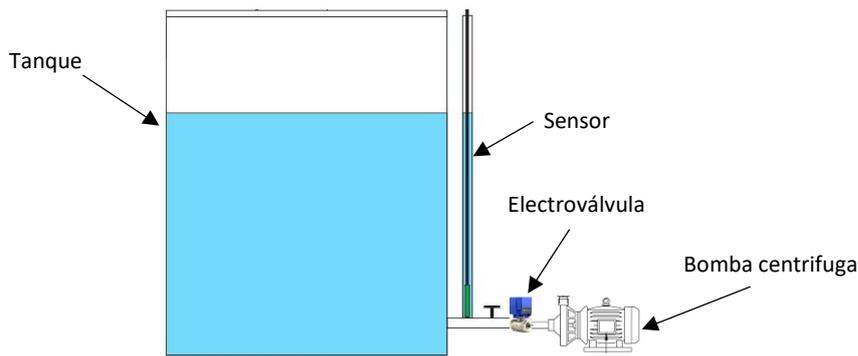
Figura 8. Colocación del revestimiento de cemento al tanque



Desarrollo del prototipo con indicador de nivel de agua.

Con base en los hallazgos obtenidos se diseñó el prototipo de indicador de nivel de agua, el cual se representa en la figura 9.

Figura 9. Diagrama del control de nivel de agua



La construcción del prototipo tiene como objetivo principal, dar respuesta a la necesidad de optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia del riego en estos entornos rurales, es por ello que, como parte del desarrollo de este sistema se utilizó un sensor de nivel de líquido CWT-WLS, el cual se empleará para controlar la cantidad de agua que contenga el tanque evitando programar el sistema de riego sin percatarse de que no hay suficiente líquido para realizar esta actividad. Este interruptor de nivel de líquido informará a la familia cuando está por rebasar el nivel máximo y el mínimo en cantidad de agua dentro del tanque. Utiliza una tarjeta ESP32, microcontrolador que integra tecnologías WiFi y Bluetooth, permitiendo generar proyectos IoT de forma eficiente y económica. Para conocer el nivel de líquido existente se desarrolló una aplicación el cual por medio de un display indicará la cantidad de líquido presente en el tanque. Otro componente es una electroválvula de bola motorizada bidireccional de acero inoxidable de 12V. Cabe señalar que la electroválvula estará controlada por un microcontrolador, que actúa como control de un temporizador y un par de relevadores, todos estos dispositivos realizarán la tarea de arrancar el sistema de la bomba para asegurar el suministro y la dosificación de agua obteniéndola del tanque y mantener hidratados los cultivos. Este prototipo implementado está basado en un Arduino UNO, donde se integran y procesan señales analógicas recibidas de un temporalizador que conforman el sistema automatizado. Se conectó también una bomba centrífuga de 0.5 HP para aumentar la presión de la salida del agua. Es importante mencionar que el diseño del prototipo logró que las mujeres tengan un acercamiento y comprensión de los beneficios que permite en sus actividades agrícolas el uso de estas nuevas tecnologías. Este diseño fue validado mediante la retroalimentación de las familias participantes.

Implementación Piloto

Se realizó una instalación piloto en los huertos seleccionados; se capacitó sobre el uso y mantenimiento del sistema automatizado. A continuación, se muestran imágenes de la instalación de estos prototipos en los fondos de traspatio de las familias. En la figura 9 se observa la bomba centrífuga y los tubos hidráulicos de PVC utilizados para realizar la actividad del riego.

Figura 9. Conexiones realizadas al tanque



Al tanque se le adaptaron unos tubos de PVC hidráulico, así como una válvula motorizada para controlar el flujo de la salida del agua, dentro del tubo en vertical se instaló el sensor de nivel del agua (figura 10), el cual indicará por medio de una aplicación el nivel de agua existente en el tanque, con esto se realiza el experimento de los vasos comunicantes entre el tanque y el sensor de nivel. En la figura 11 se observa la electroválvula que será controlada por medio de un temporizador digital el cual controlará el encendido y apagado de la bomba a través de la electroválvula, programando horarios específicos para activar el riego y en la figura 12 se muestra el temporizador digital. En la figura 13 se muestra como se capacita a una madre de familia encargada de esta actividad, con la finalidad de ir utilizando el prototipo en este período de pruebas antes de la instalación final.

Figura 10. Instalación del sensor de nivel de líquido al tinaco



Figura 11. Electroválvula instalada a la tubería del riego



Figura 12. Temporizador digital



Figura 13. Capacitación del prototipo



Evaluación y Ajustes

Se monitorearon los resultados del sistema durante un periodo de tres meses, evaluando su efectividad y la satisfacción de las familias. Nuevamente, se recolectaron datos a través de entrevistas escuchando que tan bueno fue este sistema implementando, es importante destacar que al involucrar a las personas responsables de estas actividades agrícolas en este proceso de investigación, se crea un canal de comunicación que facilita la sensibilización sobre la importancia de la gestión del agua y el uso eficiente de tecnologías modernas. La experiencia que fueron obteniendo los usuarios con el uso del

prototipo permitió evaluar no solo la efectividad del sistema, sino también la satisfacción y el nivel de adopción, el cual es fundamental para la sostenibilidad del proyecto al realizar los ajustes necesarios y lograr el impacto esperado en los usuarios logrando soluciones sostenibles y efectivas en el contexto local. Las siguientes imágenes muestran las pruebas finales realizadas con la instalación del prototipo, capacitación y aplicación para el lector de nivel de agua. La figura 14 muestra la instalación final del prototipo junto con el tanque de ferrocemento, la figura 15 muestra otra capacitación realizada a la familia y la figura 16 muestra las pruebas realizadas a la aplicación para medir los niveles de agua del tanque de ferrocemento.

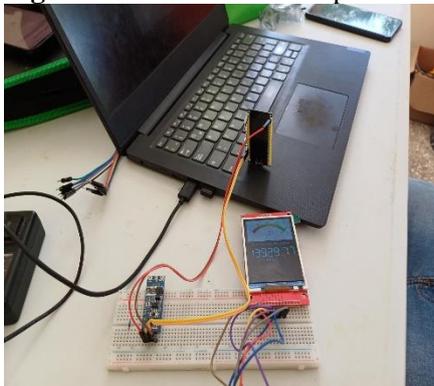
Figura 14. Instalación del prototipo



Figura 15. Capacitación



Figura 16. Pruebas con la aplicación.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre la comisaria de Cholul y el municipio de Cantamayec se beneficiarán de manera directa a quince familias para apoyar la producción de sus huertos de traspatio en donde el agua no es constante y la energía eléctrica en algunos huertos es nula o presenta muchas fallas, pero también de manera indirecta a cinco familias más. Cabe mencionar que durante la realización de este proyecto se trabajó con una muestra de 3 familias, es importante destacar que en estos huertos participa también la niñez

de las diferentes familias (20 aproximadamente), a quienes se les comparte la importancia de los saberes comunitarios. Esto con el objetivo de apoyar a las comunidades del interior del estado en la seguridad alimentaria y al uso eficiente del agua. En todo el estado, existen grupos vulnerables a la inseguridad alimentaria y a la pobreza, los huertos de traspatio constituyen un medio que permite a las familias disminuir su vulnerabilidad y les permite contribuir a la seguridad alimentaria y a la generación de ingresos suplementarios de la familia. Con la implementación de los prototipos para la automatización del riego, deben ser capaces de producir un poco más y de proveer mediante la venta de hortalizas, un retorno monetario. Los tres tanques de ferrocemento aproximadamente de 14,000 litros cada uno de capacidad, son utilizados para almacenar el agua de lluvia, que posteriormente les servirá para el riego de los huertos, constituye un gran logro para estas familias al no depender del agua potable que el H. Ayuntamiento surte a la población y de esta manera evitar quedarse sin este importante líquido. Este prototipo cuenta con sensores que supervisarán los niveles de agua, este monitoreo permite el llenado automático de los tanques de ferrocemento avisando en dos momentos importantes: cuando la capacidad de estos está al límite y cuando esté a un cuarto de su capacidad, logrando asegurar la existencia de este vital líquido para el riego de los cultivos. Con estas acciones se apoya a tener cosecha en las temporadas de mayor sequía en el estado de Yucatán. En la última fase de implementación de este sistema de riego las familias manifestaron una notable mejora en la gestión del agua, considerando estas familias un ahorro del 80% en la reducción del tiempo que les llevaba realizar el riego de forma manual. La capacitación previa a la implementación fue crucial, logrando que las mujeres que se encargarán de estas actividades tuvieran la suficiente confianza para programar su agenda del riego y activar su sistema de captación de agua, aprovechando en este momento la temporada de lluvias y con bastante precipitación pluvial por esas zonas. Sin embargo, algunas expresaron preocupaciones sobre el mantenimiento de la tecnología, la cual se considera seguir capacitándolas en caso de cualquier eventualidad que pudiera surgir.

La integración de IoT en huertos de traspatio representa una oportunidad significativa para optimizar el uso del agua. Los resultados sugieren que, además de la tecnología, es fundamental involucrar a toda la familia en el proceso de diseño y capacitación, asegurando la sostenibilidad del sistema.



CONCLUSIONES

Los huertos de traspatio contribuyen de manera significativa a la seguridad alimentaria de las familias y de las comunidades del estado de Yucatán, tanto como fuente suplementaria de productos alimenticios o como fuente de aprovisionamiento durante la estación no productiva. Bajo condiciones climáticas no extremas y con el apoyo de los prototipos el cual permitirá el monitoreo de los niveles de agua existentes dentro de los contenedores al igual que su autollenado, apoyará mucho a las familias a no depender del agua potable de la comunidad; finalmente, con la implementación de los prototipos de riego, las hortalizas pueden ser cultivadas a lo largo del año y asegurar una cosecha en los meses con mayor sequía. En el estado de Yucatán existen organizaciones civiles que se encuentran trabajando con huertos escolares y huertos de traspatio en diferentes comunidades. El desarrollo social de las comunidades solo es posible estableciendo alianzas con diversos actores estratégicos. Es claro que, para contribuir al desarrollo comunitario, es primordial la vinculación de los procesos educativos con las necesidades y realidades sociales, económicas y culturales de las diversas regiones del estado. La implementación del prototipo para el monitoreo y control de nivel de agua apoyará la producción sustentable de alimentos saludables, que son el elemento básico para mejorar la calidad de la alimentación y de las condiciones de salud de las familias participantes en el marco de la Seguridad Alimentaria. La automatización del riego en las áreas productivas permitirá diversificar la producción de cultivos y obtener producción de frutas y hortalizas durante todo el año incluyendo en las temporadas de sequía, en el cual podrán obtener recursos económicos con la venta y contar también con alimentos saludables y frescos para su consumo. Otro de los beneficios es el conocimiento acerca de las tecnologías, conforme se familiaricen con el sistema, en esa medida aprenderán a programar los tiempos de riego, también se nota el interés de los hijos e hijas de las participantes en el proceso, al momento de la instalación de los prototipos, se muestran colaborativos propiciando la interacción y el intercambio de saberes, (O. Chan, comunicación personal, 09 Septiembre de 2024).

Con todo lo anterior expuesto se puede concluir que el objetivo de este proyecto de investigación se logró con la implementación de un indicador de nivel de agua automatizado al transformar la gestión del riego en huertos de traspatio, promoviendo la sostenibilidad agrícola. La metodología cualitativa



utilizada ha permitido captar las necesidades y preocupaciones de las mujeres dedicadas a la siembra, fundamentales para el éxito del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, S., Khan, A., & Malik, M. (2022). "IoT-based smart irrigation systems: A review." *Agricultural Water Management*, 250, 106838.
- Bowers, C. A. (2021). *Educational technology and the transformation of education: Beyond the digital revolution*. Palgrave Macmillan.
- Chipana-Rivera, R., Luna-Calle, V., Blanco-Villacorta, W., Moreno-Pérez, M. F., & Roldán-Cañas, J. (2024). Sistema de riego subsuperficial a demanda mediante vasos comunicantes: estudio de caso cultivo de col rizada. *Ingeniería del agua*, 28(3), 185-197.
- Cortés, I. y Castillo, M. (2019). Los mayas y la agricultura de riego en el Oriente de Yucatán. *Desacatos. Revista De Ciencias Sociales*, 61, 130-149. <https://doi.org/10.29340/61.2137>
- Dede, C. (2022). *The role of technology in shaping future learning environments*. Harvard Education Press.
- Fernández, R., Gómez, J., & Pérez, M. (2023). "Sustainable agricultural practices: The role of automation and IoT." *Sustainability*, 15(1), 22.
- Forbes Staff (2022). Disminuye 59% disponibilidad de agua en península de Yucatán: informe. <https://www.forbes.com.mx/disminuye-59-disponibilidad-de-agua-en-peninsula-de-yucatan-informe/>
- Fundación Bill y Melinda Gates. (2022). *The state of education: A global perspective*. Gates Foundation.
- González, M., & Pérez, J. (2023). "Smart irrigation solutions using ferrocement tanks for family gardens." *Journal of Sustainable Agriculture*, 42(3), 205-218.
- Harris, J., Hoffer, S., & Harris, A. (2020). Integrating technology into education: Challenges and opportunities. *Journal of Educational Technology*, 25(4), 345-359.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *Estudio de información integrada del acuífero cárstico Península de Yucatán*.



https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/producto/s/nueva_estruc/702825086886_1.pdf

Kafai, Y. B., & Burke, Q. (2023). *Constructionism and the digital age: How making and tinkering support learning*. MIT Press.

Kumar, V., Gupta, A., & Singh, R. (2021). "Advancements in IoT for smart irrigation." *Journal of Agricultural Engineering*, 52(4), 356-367.

López, C., Morales, J., & Rodríguez, P. (2021). "The potential of ferrocement ponds for water storage in agriculture." *Water Resources Management*, 35(12), 4063-4075.

Luna Calle, V. (2023). *Riego subsuperficial ad libitum en el cultivo col rizada (Brassica oleracea var sabellica) mediante el sistema de vasos comunicantes* (Doctoral dissertation).

<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/34409>

Martínez, E., & Ortega, F. (2022). "Utilization of ferrocement for water harvesting in small-scale farming." *International Journal of Agricultural Research*, 10(4), 315-329.

Martínez, E., & Ortega, F. (2024). "Barriers to the adoption of IoT in small-scale agriculture: Insights from Yucatán." *Technology in Society*, 66, 101648.

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cenace/acciones-y-programas/plan-nacional-de-desarrollo-2019-2024-195029>

Quispe Rodriguez, E. *Cultivo hidropónico de dos variedades de tomate cherry (Solanum lycopersicum var. cerasiforme) en dos sustratos bajo el sistema de riego subsuperficial mediante vasos comunicantes en el municipio de El Alto* (Doctoral dissertation).

<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/35778>

Ramírez, T., Valdés, R., & Sosa, M. (2022). "Case studies of smart irrigation systems in rural settings." *International Journal of Agricultural Science*, 10(2), 125-139.

Ramírez, T., Valdés, R., & Sosa, M. (2024). "The role of ferrocement tanks in enhancing food security in rural communities." *Agricultural Systems*, 201, 103188.

Sánchez, R., & Torres, A. (2020). "Challenges in implementing ferrocement tanks for agricultural use: A case study." *Journal of Environmental Management*, 270, 110865.



Wang, M., Zhang, L., & Yang, J. (2022). Enhancing digital literacy through educational technology: A review of current practices and future directions. *Computers & Education*, 173, 104293.

