

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

Drip irrigation system for coconut palms

Ofelia Barrios Vargas ¹

Julio Cesar Gallo Sánchez ²

Jesús Felipe Vazquez Barrios ³

Adán Rubio Cuevas ⁴

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo implementar un sistema de riego por goteo en cultivos de palma de coco, con el fin de mejorar la eficiencia en el uso de la mano de obra y reducir el consumo de agua, promoviendo así una producción más sostenible. Se plantea sustituir los métodos de riego tradicionales, que suelen requerir mayor volumen de agua y una labor manual intensiva, por un sistema automatizado de goteo de precisión. Esta modificación permitirá una aplicación eficiente del agua, lo que disminuirá las pérdidas por evaporación y escurrimiento, además de liberar recursos humanos para realizar otras labores de plantación. El diseño del sistema se llevó a cabo mediante un análisis del terreno y del suelo con el objetivo de definir la distribución más adecuada de los emisores de goteo. La implementación de la tecnología de automatización se realizó mediante el diseño y construcción de una tarjeta electrónica con base en un microcontrolador PIC18F25K50 de Microchip, la cual cuenta con un reloj en tiempo real (para programar los días, la hora y la duración del riego) y unos contactos electromagnéticos para arrancar o para la bomba de riego, además cuenta con un sistema de eléctrico de fuerza con protección contra sobrecargas para proteger la bomba, un sistema eléctrico de control de arranque y paro manual mediante botones montados en un tablero eléctrico, lo que facilita la automatización del riego. La infraestructura incluye la instalación de tuberías, emisores de goteo y un sistema de control programable que ajusta la frecuencia y duración del riego, en función de las condiciones climáticas y las demandas del cultivo.

Los impactos Esperados son la optimización de recursos hídricos que prevé una reducción significativa en el consumo de agua (entre un 30% y 50% en comparación con sistemas convencionales). Reducción de la Mano de Obra que es que la automatización disminuirá la dependencia de intervenciones manuales en el riego, permitiendo que el personal se enfoque en otras tareas críticas del cultivo. Esto mejorará la Productividad y Calidad del Coco es decir un riego preciso y controlado favorece el desarrollo radicular y, por ende, incrementa la productividad y calidad de los frutos. En cuanto a la sostenibilidad ambiental es que el uso racional del agua y la reducción en los insumos derivados de prácticas ineficientes contribuirán a una producción más amigable con el medio ambiente. La combinación de innovación tecnológica y manejo agronómico.

¹ Profesor de tiempo completo. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, ofelia.barrios@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1034-1610>

² Profesor de tiempo completo. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, jcesar.cesar@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1034-1610>

³ Profesor de interinato. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, jf.vbarrios@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0005-7119-2913>

⁴ Profesor de tiempo completo. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, adan.rubio@lcardenas.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-3378-1398>

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

La implementación del riego por goteo en la localidad de Buena Vista, Municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero, no solo permitirá un uso más eficiente de los recursos hídricos y una reducción en la mano de obra, sino que también sentará las bases para una producción sostenible y rentable a largo plazo.

PALABRAS CLAVES: Goteo, normas, palma, semiautomático, sistema de riego.

Código jel: C80, M31, O32, Q16 I + D, Q25, Q55.

Fecha de recepción: 04 de junio, 2025.

Fecha de aceptación: 29 de septiembre, 2025.

ABSTRACT

The objective of this project is to implement a drip irrigation system for coconut palm crops to improve labor efficiency and reduce water consumption, thereby promoting more sustainable production. The plan is to replace traditional irrigation methods, which tend to require greater volumes of water and intensive manual labor, with an automated precision drip system. This modification will allow for efficient water application, which will reduce losses due to evaporation and runoff, as well as free up human resources for other plantation tasks. The system was designed based on an analysis of the terrain and soil in order to determine the most appropriate distribution of drip emitters. The automation technology was implemented through the design and construction of an electronic card based on a Microchip PIC18F25K50 microcontroller, which has a real-time clock (to program the days, time, and duration of irrigation) and electromagnetic contacts for starting or for the irrigation pump. It also has a power system with overload protection to protect the pump, an electrical control system for manual start and stop via buttons mounted on an electrical panel, which facilitates irrigation automation. The infrastructure includes the installation of pipes, drip emitters, and a programmable control system that adjusts the frequency and duration of irrigation based on weather conditions and crop demands.

The expected impacts are the optimization of water resources, which is expected to significantly reduce water consumption (between 30% and 50% compared to conventional systems). Reduction in labor, as automation will decrease the dependence on manual irrigation interventions, allowing staff to focus on other critical crop tasks. This will improve coconut productivity and quality, as precise and controlled irrigation promotes root development and, therefore, increases fruit productivity and quality. In terms of environmental sustainability, the rational use of water and the reduction of inputs derived from inefficient practices will contribute to more environmentally friendly production. The combination of technological innovation and agronomic management. The implementation of drip irrigation in the town of Buena Vista, Municipality of La Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero, will not only allow for more efficient use of water resources and a reduction in labor, but will also lay the foundation for sustainable and profitable production in the long term.

KEYWORDS: Drip, standards, palm, semi-automatic, irrigation system.

Code jel: C80, M31, O32, Q16 I + D, Q25, Q55.



INTRODUCCIÓN

En los últimos 3 meses del año, la producción se mantiene relativamente constante. En abril se observa un incremento del 9.1% hasta agosto 9.4, considerando que el mes de junio llega a 8%. En septiembre hay un descenso. A 6 puntos, 5% y se da una recuperación en los últimos 3 meses octubre, noviembre y diciembre de 7.8% en promedio. Guerrero es uno de los principales productores de ojo, con un volumen de 200,000 toneladas. Con una cuota del 42% del total nacional. Después le sigue Jalisco, con más de 68000 toneladas, que equivale a un 14.5% del total. Y Quintana Roo y Michoacán se sitúan. En Tercer y cuarto lugar. Con 43276 toneladas con 9.2% y 40, 283 toneladas, que equivale a 8.6%, respectivamente (SIAP, 2023).

Según datos de SAGARPA (2024), en la figura 1 se observan los principales estados productores de coco en México durante el año 2024. Esto evidencia la importancia del cultivo de coco en regiones estratégicas para el país y la necesidad de implementar sistemas de riego eficientes para mejorar la sostenibilidad y la competitividad de estas zonas agrícolas.

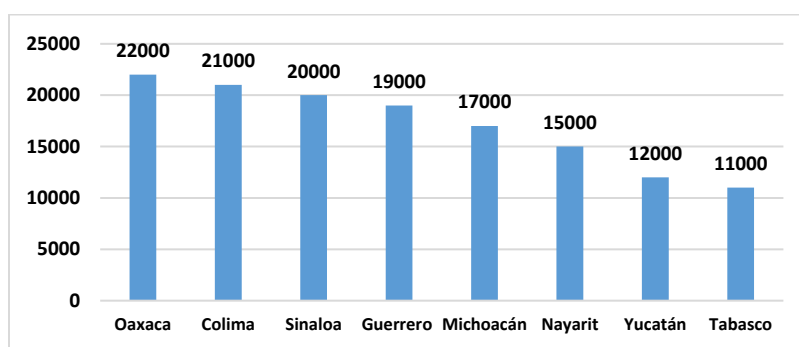


Figura 1. Producción por estado en México

El acceso y la gestión eficiente del agua constituyen uno de los principales desafíos en la agricultura contemporánea, especialmente en regiones caracterizadas por climas cálidos y una creciente presión sobre los recursos hídricos. En el municipio de Lázaro Cárdenas, Michoacán, las condiciones climáticas se distinguen por altas temperaturas, humedad relativa variable y estacionalidad en las precipitaciones, lo que intensifica la necesidad de adoptar tecnologías que garanticen la sostenibilidad en la producción agrícola. Bajo este contexto, los sistemas de riego por goteo se han consolidado como una alternativa estratégica, al permitir la aplicación localizada y controlada del agua directamente en la zona radicular de los cultivos, reduciendo pérdidas por evaporación, escurrimiento y percolación profunda.

Diversos estudios señalan que la eficiencia en el uso del agua bajo esquemas de riego por goteo puede alcanzar valores superiores al 90%, en contraste con los sistemas tradicionales de riego por gravedad o aspersión, cuya eficiencia oscila entre el 40% y 60% (Hernández-López et al., 2020; CIAT, 2023). Además, esta tecnología no solo optimiza el recurso hídrico, sino que también facilita la aplicación de fertilizantes y nutrientes mediante fertirriego, contribuyendo a mejorar la productividad y calidad de los cultivos en zonas agrícolas expuestas a estrés hídrico.

- En la región de Lázaro Cárdenas, donde se desarrollan cultivos tropicales como el coco, el mango y la papaya, el diseño e implementación de un sistema de riego por goteo representa una solución innovadora frente a la problemática del desabasto de agua, la competencia intersectorial por el recurso y los efectos del cambio climático. Por ello, resulta fundamental generar evidencia científica sobre la eficiencia técnica, económica y ambiental de este tipo de sistemas en condiciones locales, con el fin de impulsar prácticas de producción más sostenibles y resilientes.

Planteamiento del problema

En Michoacán, el municipio de Lázaro Cárdenas es el mayor productor de coco a nivel nacional con 3,364 hectáreas sembradas. El cultivo de coco promedia 2.67 hectáreas por productor. Uno de los principales problemas en la agricultura es la utilización excesiva de mano de obra y agua debido al riego manual en las parcelas, lo que conlleva al desperdicio de agua en los cultivos.

En la figura 2 muestra el consumo de agua en la agricultura es responsable del 64% del consumo total de agua, seguido por la industria y el uso doméstico.

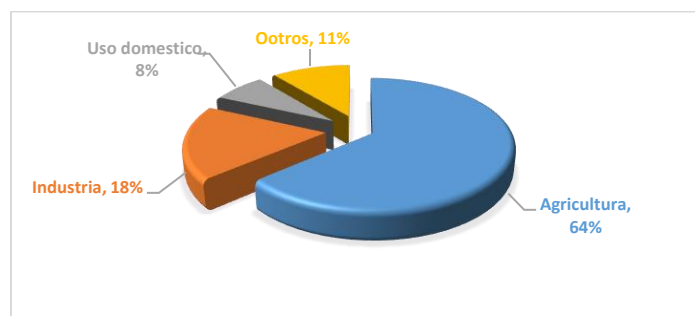


Figura 2. Distribución del uso de agua por sector

Haber (2008), indica que la periodicidad del riego para que una palma de coco sea productiva está determinada por diversos factores, tales como el clima, la naturaleza del suelo, la fase del cultivo y el sistema de riego empleado. En términos generales, en regiones de México que enfrentan una temporada de sequía considerable, se aconseja irrigar cada 7 a 10 días para mantener una humedad adecuada en el suelo sin provocar un encharcamiento, lo cual podría tener un impacto negativo en el sistema radicular. A lo largo del período de precipitaciones, la adición natural tiende a ser suficiente y el riego suplementario puede disminuir o incluso no ser requerido.

De acuerdo con CONACYT (2020) el nivel de madurez tecnológica es TRL 7: Demostración de un prototipo en un entorno espacial/real, ya que el proyecto se implementó en un cultivo bajo las condiciones reales del entorno.

Delimitación

Realizar el prototipo del sistema de riego en Buena Vista, Municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto se justifica por el desarrollo de un prototipo como un equipo de apoyo para los agricultores de la región Buena Vista, Municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, Guerrero. Ante el crecimiento sostenido en la producción de coco, los productores y exportadores se enfrentan a demandas cada vez más altas y complejas, en este escenario, es crucial implementar nuevas tecnologías que no solo simplifiquen el proceso producción de coco, sino que también optimicen el uso de recursos esenciales como la mano de obra, el agua y tiempo, esto con la finalidad de aumentar los ingresos de los productores. Este cambio tendrá impactó notable en el sector agrícola al proporcionar una solución que permite un mejor uso del agua disponible, fundamentalmente para el riesgo de cultivos de coco.

La propuesta de un sistema de riego automatizado y localizado tiene un potencial de asegurar un control preciso de la cantidad de agua empleada, lo que se traduce en una disminución de costos

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

laborales, mano de obra y en el uso eficiente del recurso hídrico. A través de estas innovaciones se logrará un riego uniforme lo cual es esencial para el desarrollo óptimo de las palmas de coco, resultando un producto de alta calidad que beneficiará al sector agrícola.

En los meses críticos de sequía —febrero, marzo, abril y mayo—, los requerimientos de agua cambian de acuerdo con la edad de la palma:

- Una palma de 1 año requiere aproximadamente 50 litros de agua diarios.
- Una palma de 2 años necesita cerca de 100 litros cada 8 días.
- Las palmas de 3 a 5 años precisan alrededor de 200 litros cada 8 días.
- En el caso de las palmas en producción, se estima un consumo de aproximadamente 500 litros cada 8 días.

Adicionalmente en la tabla 1, se observa la comparativa entre los sistemas de riego manual y automatizado, indicando la fuerte dependencia del capital humano, así como el consumo del agua.

Tabla 1. Comparativa entre Riego Manual y Riego Automatizado

Aspecto	Riego Manual	Riego Automatizado
Consumo de agua	Alto (poco controlado)	Bajo (control preciso)
Costo de mano de obra	Elevado (requiere personal constante)	Reducido (sistema programado)
Uniformidad del riego	Baja (depende de la habilidad del operador)	Alta (aplicación uniforme)
Control de humedad	Bajo (sin sensores de humedad)	Alto (uso de sensores de humedad)
Sostenibilidad ambiental	Limitada (desperdicio de agua frecuente)	Alta (uso eficiente del recurso)
Productividad esperada	Variable (posibles pérdidas por mal riego)	Óptima (mejor desarrollo de cultivos)

Fuente: Hernández-López, Rivas-Pérez & Feliu-Batlle (2020), Ramírez & López (2012).

Los impactos del proyecto que son tecnológico, social, económico y cultural se describen a continuación.

- Tecnológico: El prototipo incluirá tecnologías propias de la Industria 4.0, tales como la inteligencia artificial, con el objetivo de automatizar el sistema de riego. Este enfoque que permitirá a los productores mantener competitividad en un mercado que exige soluciones innovadoras y precisas en la gestión de recursos.
- Social: Desde la perspectiva, el proyecto proporcionara beneficios al sector agrícola de la región al facilitar el crecimiento de la producción y optimizar la utilización del recurso hídrico, liberando tiempo y esfuerzo que pueden dirigidos hacia otras actividades productivas.
- Económico: La automatización facilitará la reducción considerable en los costos laborales al disminuir la dependencia del riego manual, que resultará en una mayor rentabilidad para los agricultores.
- Cultural: fomentar la adopción de sistemas que ofrezcan una alternativa innovadora, que a lo largo plazo pueda consolidarse como una práctica en los procesos de riego, generará beneficios prologados para el sector agrícola.
- Ambiental: apoyar la conservación y al desarrollo sostenible del entorno al incentivar el uso responsable y eficiente de los recursos hídricos, promoviendo una cultura de ahorro y sostenibilidad.

Hipótesis

La implementación de un sistema de riego automático por goteo en los cultivos de palma de coco optimizará el uso del recurso hídrico y la eficiencia de la mano de obra, logrando una reducción significativa en los costos de producción y un incremento en la productividad agrícola. Se espera que el sistema será económicamente viable y funcional, permitiendo un suministro de agua preciso y

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

sostenible que impactará positivamente en el desarrollo integral y sostenible de la región. Además, se prevé un impacto positivo en la calidad del producto final y una mejora en la sostenibilidad del proceso agrícola, al reducir el estrés hídrico y evitar el desperdicio de recursos naturales.

Estado del arte

Los estudios revisados demuestran que la tecnificación del riego es una necesidad urgente en el contexto agrícola de América Latina y el Caribe. La evidencia presentada por Delgado (2021) y Chiquito & Paguay (2020) en Ecuador, y por Hernández-López et al. (2020) en Cuba, señala que la ineficiencia de los sistemas manuales de riego genera un elevado desperdicio de agua, afectando tanto la rentabilidad económica de los productores como la sostenibilidad de los recursos hídricos. Además, la creciente demanda de agua en sectores agrícola, industrial y doméstico agrava la situación de escasez, especialmente en países en vías de desarrollo donde se destinan hasta el 70% de los recursos hídricos al riego agrícola (Hernández-López, 2020).

En el caso de México, la situación es igualmente preocupante. Ramírez (2001) y Tapia (1996) destacan la falta de tecnificación y de programas eficientes de gestión del agua en regiones estratégicas como Tierra Caliente y el Valle de Apatzingán, donde incluso se ha dejado de sembrar una parte significativa de la superficie habilitada debido al manejo inadecuado de los sistemas de riego. Por otro lado, Montes de Oca-Hernández et al. (2012) exponen que la inequidad en la distribución del agua, dependiendo de la posición aguas arriba o aguas abajo de las comunidades, agrava aún más la problemática al limitar el acceso oportuno al recurso hídrico.

En este sentido, la implementación de sistemas automatizados de riego, como los que utilizan sensores de humedad y programación inteligente, se presenta como una alternativa clave para maximizar la eficiencia en el uso del agua y mejorar la producción agrícola (Escobar & Farfán, 2018; Martínez & Hernández, 2015). Además de contribuir a la sostenibilidad ambiental, estos sistemas permiten disminuir los costos operativos, optimizar la mano de obra y mejorar la calidad de los cultivos, asegurando así una mayor competitividad en los mercados nacionales e internacionales (Ramírez & López, 2012; Jiménez & Rodríguez, 2010).

METODOLOGÍA

El riego por goteo, es un sistema presurizado donde el agua se conduce y se distribuye por conductos cerrados que requieren presión, desde el punto de vista agronómico se denominan riegos localizados porque este humedece un sector de volumen del suelo, proporcionando el recurso hídrico suficiente para el buen desarrollo del cultivo, añadiéndole que el sistema se acompaña de tecnología que facilita su utilización, con tarjetas electrónicas que le permiten al sistema programarse según las necesidades del agricultor, es decir, distribuye el agua en la ubicación, cantidad, frecuencia y horario que se desee, de esta manera el producto tiene un gran impacto en la mano de obra utilizada, debido a que es una opción cómoda y productiva para realizar el riego, ahorrando tiempo y garantizando que el cultivo se mantengan verdes y sanos.

El sistema de control de riego por goteo está compuesto por dos circuitos principales:

- El circuito eléctrico de control y fuerza.
- El circuito electrónico de control de riego automático.

El circuito eléctrico de control y fuerza, es una instalación eléctrica trifásico a 220 VAC, como se observa en la figura 3; cuenta con un interruptor termomagnético trifásico, un contactor de 50 A, un relevador de sobrecargas de 25 A, dos botones (arranque y paro) con luminarias (verde indica arranque y roja avisa falla por sobrecarga eléctrica en la bomba), que nos sirve para encender o

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

apagar la bomba de manera manual, además de ofrecer protección eléctrica contra sobrecargas para la bomba de riego.

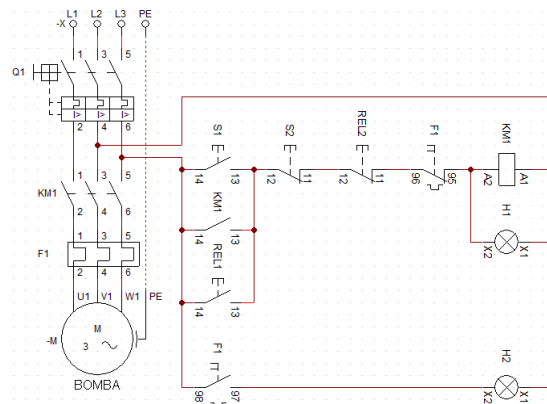


Figura 3. Diagrama eléctrico de control y fuerza, para el arranque y paro manual de la bomba.

El circuito electrónico de control de riego automático tiene como núcleo un microcontrolador de 8 bits de la compañía Microchip (PIC18F25K50), una pantalla OLED matricial de 128x64 pixeles donde muestra las instrucciones y guía al usuario en la programación de las alarmas de riego, auxiliándose de cuatro botones que nos sirven para movernos en el menú del sistema de riego automático y modificar el día, hora y duración del riego. En la figura 3 y figura 4 se muestra el circuito completo de control de riego automático.

Este sistema de control electrónico cuenta con un reloj en tiempo real RTC DS3231, y dos relevadores que se interconectan con el Circuito eléctrico de control para lograr encender o apagar la bomba de riego de manera automática cuando se cumplen las condiciones del día, hora y tiempo de riego. Este circuito fue armado en dos tarjetas de impreso y mantadas en un gabinete plástico hecho a la medida e incorporado, al circuito eléctrico de control en el tablero eléctrico.

Esta primera tarjeta contiene el microcontrolador, la pantalla OLED, cuatro botones, el led (rojo) indicador de POWER y el led (verde) indicador de Bomba encendida.

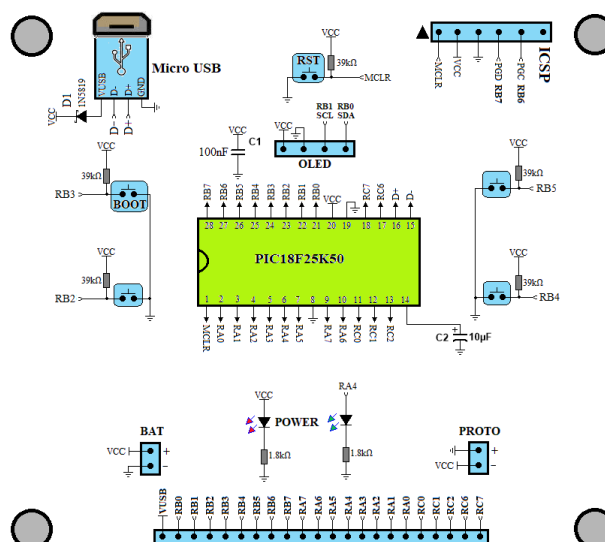


Figura 4. Diagrama de la tarjeta electrónica de control riego automático, primera tarjeta.

La segunda tarjeta solo contiene el reloj en tiempo real RS3231 que nos proporciona la fecha (día, mes y año), el día y hora actual (hora, minutos y segundos) en que nos encontramos y dos relevadores auxiliares (START REL1 y STOP REL2) que se interconectar con el circuito eléctrico de control para encender y para la bomba mediante el sistema electrónico de control automático de riego como se observa en la figurac5.

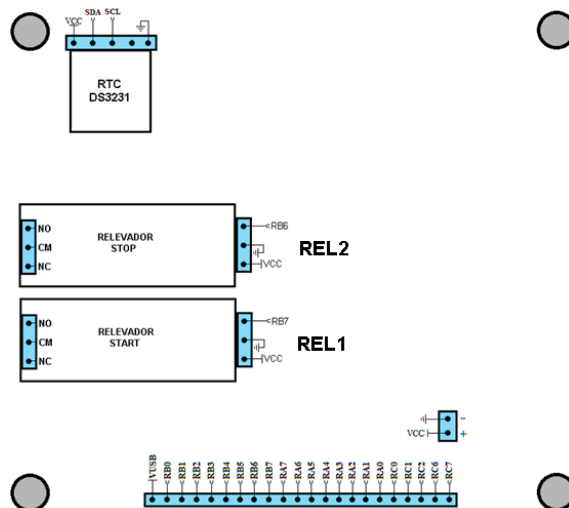


Figura 5. Diagrama esquemático de la tarjeta electrónica de control del riego automático auxiliar, segunda tarjeta.

Finalmente, la fabricación del panel electrónico de control de riego automático se muestra en la figura 6, donde podemos ver la pantalla OLED mostrando el día actual, la hora y fecha.



Figura 6. Fotografía que muestra el circuito de control electrónico automático de riego.

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

El control riego terminado, montado en su gabinete impermeable y de uso rudo se puede ver en la figura 7, donde se observan los botones de arranque (verde) y de para (rojo) con luminarias que indican cuando la bomba esta encendida o entra en falla por sobrecarga.



Figura 7. Fotografía del gabinete del control de riego automático para huerto de cocos

En la figura 8 se muestra una fotografía interna del gabinete con los dos circuitos que componen el sistema de riego, el circuito eléctrico de control y fuerza trifásico y el circuito electrónico de control de riego automático.



Figura 8. Gabinete del control de riego automático para huerto de cocos.

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

El sistema de riego por goteo se instaló dentro de un cuarto en la huerta de cocos, en la figura 9, se puede observar el equipo ya montado, funcionando y la bomba de riego trifásica de 220VAC de 5 HP.



Figura 9. Instalación del sistema en campo y la bomba utilizada.

En la figura 10 se muestra el diagrama de bloques del proceso del sistema de riego por goteo. Adquisición de la tarjeta electrónica Fabricación de la tarjeta electrónica Adquisición de materiales y componentes Armado de la tarjeta Medición de parcela Pruebas de funcionalidad finales Unión de la tarjeta electrónica con el contactor Pruebas de funcionalidad a la tarjeta Diseño de instalación hidráulica Diseño de instalación eléctrica Instalación del sistema de riego Pruebas de funcionalidad del sistema de riego

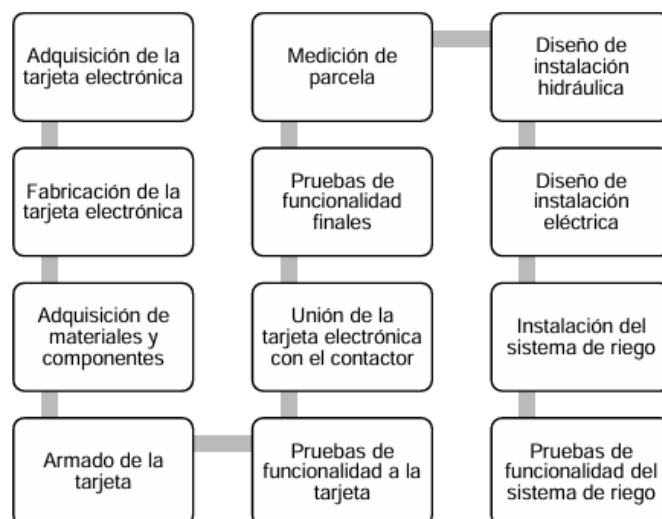


Figura 10. Diagrama de bloques del proceso de sistema de riego.

1. Adquisición de la tarjeta electrónica: Se realiza la compra al distribuidor de la tarjeta electrónica.
2. Fabricación de la tarjeta electrónica: El técnico fabrica la tarjeta que servirá para automatizar el sistema, la elaboración de la tarjeta consta de 1.5 horas, en este caso se fabricaran dos tarjetas, una para el motor de la bomba y otra que hará la función del control remoto.

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

3. Adquisición de materiales y componentes: Se realiza la compra al distribuidor de los materiales y componentes necesarios para el armado de la tarjeta electrónica.
4. Armado de la tarjeta: El técnico realiza el armado de la tarjeta, donde conecta la tarjeta electrónica con los materiales y componentes.
5. Pruebas de funcionalidad a la tarjeta: El técnico realiza diversas pruebas para comprobar la eficiencia y funcionalidad de la tarjeta.
6. Unión de la tarjeta electrónica con el contactor: Una vez lista la tarjeta electrónica, el técnico une la tarjeta con el contactor para terminar su proceso de fabricación de la tarjeta.
7. 7. Pruebas de funcionalidad finales: El técnico realiza las pruebas finales para comprobar la perfecta funcionalidad de la tarjeta electrónica.
8. Medición de parcela: Se mide la parcela a trabajar, tomando en cuenta la separación de las palmas que consta de 10 metros y la distancia de la noria a la huerta que son 8 metros; de esta manera se toma en cuenta el material que se debe utilizar en los diseños siguientes.
9. Diseño de instalación hidráulica: Se realiza el diseño hidráulico de todas las tuberías, filtros y demás materiales necesarios, considerando las necesidades del agricultor, tomando en cuenta las medidas previamente establecidas de la parcela.
10. Diseño de instalación eléctrica: Se realiza el diseño eléctrico para la instalación de la tarjeta que automatiza el sistema y la caja de seguridad.
11. Instalación del sistema de riego: Se instala el sistema de riego automático por goteo, agregando la primera tarjeta electrónica a la bomba, posteriormente se instala la caja de seguridad eléctrica con la segunda tarjeta electrónica, de esta manera se cumple con los requerimientos de riego del agricultor.
12. Pruebas de funcionalidad del sistema de riego: el técnico realiza las pruebas finales al sistema de riego para comprobar que cumpla con su función y con los requerimientos del agricultor.

En la figura 11 se muestra el plano de la huerta de coco con la respectiva distribución hidráulica en una hectárea de terreno, donde hay una noria que suministra el agua mediante una bomba trifásica de 5 hp, con instalación hidráulica que consta de una tubería principal y mangueras secundarias que distribuyen el agua a las palmas, cada palma tiene una distancia de 10 metros entre cada una de ellas.

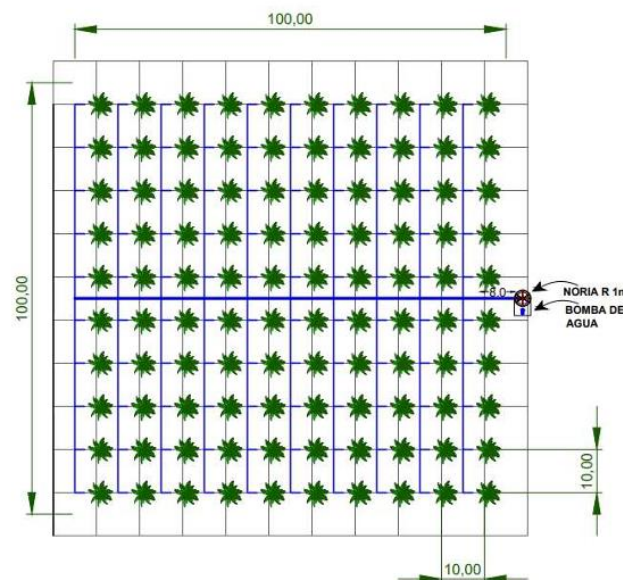


Figura 11. Plano de huerta de coco.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La implementación del sistema electrónico automático permitió programar y controlar el riego de manera precisa, ajustando la frecuencia y duración en función de las condiciones ambientales y las necesidades del cultivo. Esto resultó en una reducción significativa del consumo de agua entre un 30% y un 50% en comparación con métodos tradicionales y disminuyó la dependencia de la intervención manual, liberando recursos humanos para otras tareas. Además, la integración de la tarjeta electrónica con microcontrolador y reloj en tiempo real mejoró la seguridad y confiabilidad del sistema, al incluir protecciones contra sobrecargas y facilitar un monitoreo en tiempo real, lo que posiciona esta solución como un avance clave hacia una producción agrícola más sostenible y eficiente.

El abastecimiento de manera manual ocupaba dos personas y tardaba de 4 a 5 Horas, y se abastecían 50 litros por palma, con la implementación del sistema de riego por goteo es de 30 a 35 litros por palma en un tiempo de 30 minutos.

De acuerdo con la tabla 2, el análisis comparativo del sistema manual con el sistema de riego por goteo, se observa una disminución en tiempo riego y abastecimiento de agua.

Tabla 2. Análisis comparativo de eficiencia de riego manual con riego por goteo

Aspecto	Riego Manual	Riego por Goteo
Eficiencia hídrica	60–70%	90–95%
Pérdidas por evaporación	Altas	Muy bajas
Pérdidas por escurrimiento	Frecuentes	Mínimas
Ahorro estimado de agua	No hay	Hasta 50% menos consumo
Frecuencia de riego	Variable, menos controlada	Precisa y programable
Impacto en malezas	Mayor humedad superficial	Menor desarrollo de malezas
Requerimiento de mano de obra	Alto	Bajo (una vez instalado)
Costo inicial	Alto (por la mano de obra)	Medio–alto (pero con retorno a mediano plazo)

En la figura 12, se observa la relación del tiempo y el volumen de agua suministrado a tres diferentes velocidades con las que cuenta el sistema por goteo automatizado. A menor velocidad de riego se mejora la eficiencia del consumo de agua, pero se incrementa el tiempo de riego, lo que resulta un gasto mayor de energía eléctrica. La recomendación es manejar una velocidad media de 2.0 m/s.

Sistema de riego por goteo para palma de cocos

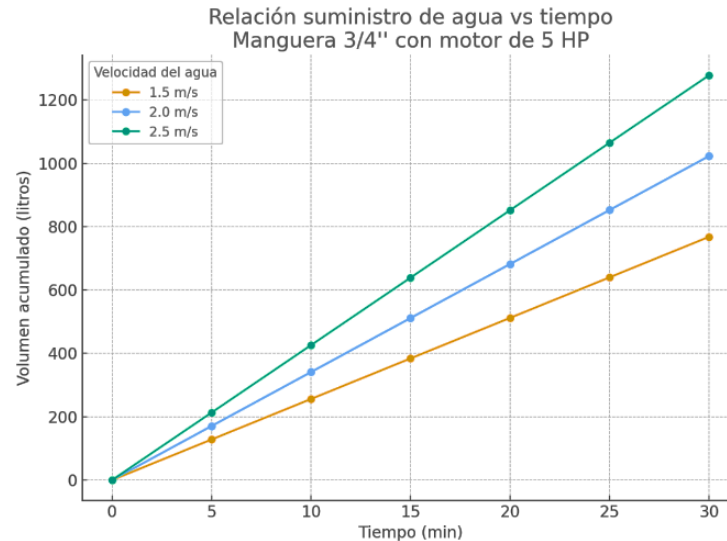


Figura 12. Relación tiempo y volumen a tres velocidades.

El sistema por goteo permite aplicar agua directamente en la zona radicular, lo que mejora la absorción y reduce el estrés hídrico. Dado que en climas tropicales como el de Lázaro Cárdenas y Guerrero, donde la evaporación es alta, el goteo es especialmente ventajoso.

Impactos Esperados:

- **Optimización de Recursos Hídricos:** Se prevé una reducción significativa en el consumo de agua (entre un 30% y 50% en comparación con sistemas convencionales).
- **Reducción de la Mano de Obra:** La automatización disminuirá la dependencia de intervenciones manuales en el riego, permitiendo que el personal se enfoque en otras tareas críticas del cultivo.
- **Mejora en la Productividad y Calidad del Coco:** Un riego preciso y controlado favorece el desarrollo radicular y, por ende, incrementa la productividad y calidad de los frutos.

Sostenibilidad Ambiental: El uso racional del agua y la reducción en el uso de insumos derivados de prácticas ineficientes contribuirán a una producción más amigable con el medio ambiente.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En conclusión, este proyecto ha demostrado ser una iniciativa innovadora para modernizar la producción de coco en México, al integrar tecnología avanzada con prácticas agronómicas optimizadas. La implementación del sistema de riego por goteo automatizado ha permitido mejorar la eficiencia, en tiempo de riego de 87.5% (210 minutos), en el uso del recurso hídrico se ahorra por palma de 15 a 20 litros, en las 100 palmas se ahorró total es de 1500 y 2000 litros. Además, se reduce significativamente un 50% la dependencia de mano de obra y en consecuencia, se incrementa la rentabilidad de los cultivos. Asentando las bases para una producción sostenible a largo plazo, que no solo responde a las necesidades actuales del sector agrícola, sino que también promueve el desarrollo de prácticas más responsables y eficientes en el manejo de recursos.

REFERENCIAS

- Chiquito, G. R. & Paguay, T. C. A. (2020). *Diseño de un prototipo de sistema de riego automatizado mediante una red de sensores que mida la humedad del suelo en los campos agrícolas y permita controlar el consumo de agua* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones).
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 2023). *Manual técnico de sistemas de riego sostenible*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Delgado, B. J. (2021). *Estudio de un sistema de riego automatizado para mejorar la producción agrícola en la hacienda "las cabezas" del cantón Flavio Alfaro* [Tesis licenciatura]. Universidad Estatal de Sur de Manabí (UNESUM).
<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3392/1/PROYECTO%20DE%20TITULACION%20C3%93N%20DARIO%20DELGADO%20BRAVO%20Listo.pdf>
- Escobar, M. C. & Farfán, O. K. (2018). *Diseño de un sistema de riego para la implementación de cultivos automatizados en el recinto playa seca del cantón el triunfo*. [Tesis pregrado]. Universidad de Guayaquil.
- Haber, F. (2008). *Técnicas y herramientas para el monitoreo de la humedad del suelo*. Editorial Agropecuaria.
- Hernández-López, Y., Rivas-Pérez, R., & Feliu-Batlle, V. (2020). Control automático de la distribución de agua en sistemas de riego: revisión y retos. Ingeniería. *Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 41(2), 80-97.
- Martínez, L. & Hernández, S. (2015). Manejo agronómico y prácticas culturales en la producción de coco. *Revista de Agricultura Tropical*, 6(2), 30-45.
- Hernández-López, E., Rivas-Pérez, J., & Feliu-Batlle, V. (2020). Eficiencia de los sistemas de riego en países en desarrollo: un análisis para Cuba. La Habana, Cuba.
- Jiménez, J. & Rodríguez, P. (2010). Estrategias de riego para el cultivo de palma de coco en zonas semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 67-75.
- Ramírez, A. & López, M. (2012). Evaluación de la productividad y manejo agronómico de palma de coco en México. *Revista de Agricultura Tropical*, 5(1), 45-60.
- Ramírez, M. & López, F. (2012). *Riego eficiente y sustentabilidad hídrica en la agricultura mexicana*. Editorial Agroproductiva
- SAGARPA. (2024). Informe anual de producción agrícola: Producción de coco por estado. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de México <https://www.gob.mx/sagarpa>
- SAGARPA. (2024). *Informe anual de producción agrícola 2024*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de <https://www.gob.mx/sagarpa>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Estadísticas de producción agrícola en México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>