

Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal

Smart irrigation system for pecan walnut tree cultivation

ESPARZA-DELGADO, María del Carmen†*, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto

Universidad Tecnológica de Chihuahua, Mecatrónica y Energías Renovables

ID 1^{er} Autor: *María Del Carmen, Esparza-Delgado* / ORC ID: 0000 0001 8276 6031, Researcher ID Thomson: S-7823-2018, CVU CONACYT ID: 520791

ID 1^{er} Coautor: *Eva Claudia, Perez-Ortega* / ORC ID: 0000-0002-4739-9237, Researcher ID Thomson: S-6728-2018, CVU CONACYT ID: 388994

ID 2^{do} Coautor: *Alberto, Chavira-Alvarez* / ORC ID: 0000-0002-2705-6851, Researcher ID Thomson: S-7881-2018, CVU CONACYT ID: 250601

DOI: 10.35429/JOIE.2019.11.3.1.9

Recibido Junio 27, 2019; Aceptado Septiembre 30, 2019

Resumen

La agricultura es la actividad que demanda mayor cantidad de agua dulce, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua, el 82.9% del agua extraída es para uso agrícola y gran parte de ésta se pierde en el proceso de riego por contar con sistemas ineficientes, por sobre irrigar, por evaporación o por filtración. El presente artículo muestra el diseño de un sistema de riego inteligente en tiempo real para determinar el momento oportuno y cantidad de agua suministrada, considerando como indicadores las condiciones del medio ambiente, suelo y los requerimientos hídricos del nogal, el sistema integra el balance de humedad del suelo, las condiciones climáticas, ajusta automáticamente las dosis de riego y los momentos de aplicación, para hacer un uso eficiente del agua y mejorar la respuesta del cultivo, que se traduce en ahorro del vital líquido y energía permitiendo asegurar la sustentabilidad y rentabilidad de las prácticas de riego. Como resultado, el uso de la tecnología ha permitido mejorar el sistema de riego. La comodidad, ahorro e incrementos productivos son algunos de los beneficios de la tecnología la cual ha ido avanzando e introduciéndose en todos los sectores y el campo no es la excepción.

Riego inteligente, Nogal, Desarrollo tecnológico

Abstract

Agriculture is the activity that demands a greater amount of fresh water, according to the national water Commission, the 82.9% of the extracted water is of agricultural use and a great part of this is lost in the process of irrigation have inefficient systems, above irrigate, by evaporation or filtration. This article shows the design of an intelligent in real time to determine the right time irrigation system and quantity of water supplied, considering as indicators the conditions of climate, soil and water of the walnut tree requirements, the system integrates soil, weather conditions, moisture balance automatically adjusts irrigation doses and times of application to make efficient use of water and improve the response of the crop which translates into saving the vital liquid and energy allowing to ensure the sustainability and profitability of irrigation practices. As a result, the use of technology has improved the irrigation system. Convenience, savings, and production increases are some of the benefits of the technology, which has advanced and entering all sectors and the field is no exception.

Smart irrigation system, Pecan, Technology development

Citación: ESPARZA-DELGADO, María del Carmen, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto. Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-11: 1-9

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: cesparza@utch.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

Uno de los problemas que se ha incrementado a nivel mundial en los últimos años es el abastecimiento de agua, cada día se convierte en un recurso escaso y costoso. La mala gestión, distribución, métodos y falta de conciencia son algunos de los principales problemas que contribuyen a la pérdida del vital líquido.

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la agricultura es la actividad que demanda mayor cantidad de agua dulce, ocupando el 82.9% del agua extraída. En el proceso de riego gran parte del vital líquido se pierde por contar con sistemas ineficientes, por sobre irrigar, por evaporación o por filtración, aunado a ello, el crecimiento de la población implica incrementos en la producción agrícola y para subsanar los requerimientos de agua en los últimos años se han sobreexplotado los mantos freáticos. De acuerdo a la CONAGUA aproximadamente el 80% de la superficie de los cultivos se riegan actualmente con agua subterránea, el agua subterránea presenta mayor concentración de sales que afectan el cultivo y las redes de distribución (Cruz, 2017).

Con el tiempo se han efectuado mejoras en las técnicas de riego, entre las principales se encuentra el riego por inundación, por aspersión, por goteo y micro aspersión. Para el control del riego algunas técnicas incluyen sistemas automatizados que permiten un consumo de agua más reducido, sin embargo estos sistemas son costosos, complicados en su operatividad, requieren de capacitación específica de operación y no están diseñados para las necesidades específicas de hidratación del cultivo.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de riego inteligente en tiempo real que considere las características del cultivo para determinar el momento oportuno y cantidad de agua, es decir, cuándo y cuánto regar, evitando el estrés de la planta por falta de riego o por sobre irrigación, por lo que se propone, crear una estrategia de control de riego que permita el uso eficiente del recurso hídrico en función de las variables del cultivo, condiciones climatológicas del entorno, humedad del suelo y determine la frecuencia, intermitencia y duración del riego.

Justificación

El cultivo del nogal pecanero es altamente rentable en toda su cadena productiva y de comercialización (Orona, 2013), por lo que se sostiene en continua expansión. Efectuando un análisis de la evolución de la producción podemos ver que a través de los años se han incorporado mejoras en las técnicas de riego del nogal, por ejemplo, estados como Sonora y la Comarca Lagunera tienen una tendencia al riego por goteo, en Nuevo León prevalece el riego por superficie y en Chihuahua y Norte de Coahuila predomina el riego por aspersión y micro aspersión (Méndez & Irving, 2014) de igual manera se han introducido cambios en el manejo de podas, la densidad del arbolado y materiales genéticos con grandes beneficios que permiten tener una cosecha en menor tiempo de buena calidad y cantidad.

Respecto al clima y uso del agua podemos decir que, los grandes productores de nuez, como el Estado de Chihuahua, registran temperaturas extremas que van desde -20°C en invierno, a 50°C en verano (Esparza, Herrera, & Solorio, 2017), por tanto la demanda de agua por temporada también es variable y a lo anterior se suma que son regiones de limitada disponibilidad del líquido.

Estudios efectuados por la SAGARPA muestran que los cultivos en la actualidad se riegan en un 80% aproximadamente con agua subterránea y que los acuíferos se encuentran sobreexplotados, por otro lado se debe considerar que el agua subterránea presenta comúnmente mayores concentraciones de sales solubles y sodio que las aguas superficiales, cabe mencionar que la cantidad de sales demerita la calidad del agua. De sostenerse un crecimiento en la producción de la nuez pecanera como hasta ahora, se verá un incremento en la sobre explotación de las fuentes naturales a su máxima capacidad.

Respecto al costo del riego, éste comprende, el costo de energía de extracción, equipo de bombeo, sistema de riego, mantenimiento y el costo del agua, el cual representa entre el 5 al 10 por ciento del costo de producción, es decir es mínimo.

Del análisis anterior se desprende lo siguiente: en la actualidad el riego se efectúa sin considerar su optimización, el avance tecnológico utilizado hasta ahora no se traduce a un uso más eficiente del agua porque no está respaldado por análisis profundo de los requerimientos de agua por cultivo, el costo del riego no es un problema de gran impacto, el problema real lo representa la expansión del cultivo y su sostenibilidad que demandaran la explotación de nuevas fuentes del recurso.

Esto significa que es imperante el desarrollo de tecnología para un uso eficiente del agua de riego con una visión integral.

Ante un inminente crecimiento en la producción de nuez en México el manejo del agua es el eje central de la propuesta de este proyecto de desarrollo tecnológico.

El presente proyecto pretende desarrollar una alternativa de solución mediante el desarrollo de una estrategia de uso y un sistema innovador específico que optimice el consumo de agua, para no seguir comprometiendo el recurso hídrico de las nuevas generaciones.

Objetivo

Desarrollar un sistema de riego inteligente que permita el uso eficiente del recurso hídrico, considerando la programación de riego en tiempo real y decida la intermitencia, frecuencia y duración, en función de las necesidades del cultivo, condiciones climatológicas y condiciones de humedad del suelo.

Metodología

El presente proyecto se desarrolla para determinar la estrategia más adecuada que permita optimizar el aprovechamiento del agua para el cultivo del nogal, en función de los requerimientos hídricos de la planta y las condiciones ambientales, de modo que su operación sea sencilla y económica.

El diseño y desarrollo del prototipo se basa en el modelo general para la creación de prototipos, la primera etapa consiste en el análisis de la problemática y alcance del proyecto, en esta etapa se establecieron los indicadores y parámetros de trabajo.

La segunda etapa es diseño, contempla la identificación de dispositivos, elementos y requerimientos para la construcción del prototipo, la tercera etapa, se desarrolla la programación del sistema y calibración de sensores la cuarta etapa es de pruebas de funcionamiento y la quinta etapa es la prueba experimental.

A continuación se detallan cada una de las etapas:

Etapa 1. Indicadores y parámetros de trabajo

Como parte inicial, se determinaron los indicadores representativos para el monitoreo de medio ambiente, suelo y cultivo, así como los parámetros de funcionamiento del sistema de riego, que permitan aplicar la cantidad de agua en el momento oportuno, maximizando la eficiencia del riego.

Los parámetros de humedad se establecieron considerando, la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) que son los límites que definen la necesidad de agua de un cultivo. La capacidad de campo se define como la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo después de saturado y dejado drenar libremente por espacio de 24 a 72 horas, cuando éste se encuentra lleno de agua se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible, el punto de marchitez permanente (PMP) es el contenido de agua en el suelo después que el cultivo extrajo toda el agua utilizable y queda un cierto contenido, tan fuertemente retenido que no es extraíble por el cultivo, al contenido de agua por sobre el punto de marchitez y por debajo de la capacidad de campo del suelo, se denomina humedad aprovechable (HA).

De acuerdo a la fenología del nogal el periodo de dormancia, es el periodo invernal en el que la actividad metabólica y crecimiento se reduce al mínimo y en general desde octubre a mediados de marzo las nogaleras no reciben riego, la práctica sugiere regar la segunda quincena de enero para evitar la sequedad y muerte de raíces delgadas superficiales (Tarango, 2012), por otro lado hay investigaciones que sugieren que en esta etapa un nogal adulto requiere de 50L de agua por día (Valdez G., 2001).

En los periodos siguientes que son el nacimiento del brote, crecimiento de brote, crecimiento y desarrollo de fruto, los requerimientos de agua varían según el periodo (Tarango, 2012), de acuerdo a los resultados encontrados por Herrera (1990), Sparks y Yates (1995) y Godoy-Ávila (1996), una vez que el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, el factor principal que controla la apertura del ruzno es la disponibilidad de agua en el suelo, sugiriéndose mantener, durante este período, 50% de la humedad aprovechable para acelerar la apertura y así disminuir de manera significativa el número de nueces germinadas (Godoy Avila, 2005). El umbral de riego o déficit permisible se considera de entre 40% a 70% de humedad aprovechable (HA), en la etapa de crecimiento (Antúnez Barría, 2009).

Por otro lado no solo la falta de irrigación es perjudicial, también la sobre irrigación, un exceso de humedad en las raíces provoca hongos y la falta de oxigenación la muerte de las raíces nuevas en un periodo de 1 a 4 días (Ferreira E., Sellés Van S., & Sellés M., 2001). Considerando que el árbol no requiere la misma cantidad de agua durante el año y siguiendo los tiempos de desarrollo del nogal se determina la estrategia de riego adecuada para optimizar el aprovechamiento del agua para el cultivo del nogal en función del su fenología y condiciones del medio ambiente y suelo.

Etapa 2. Prototipo

El sistema se conforma de un dispositivo de control, sensores, electroválvula y software que procesa la información proporcionada para tomar la decisión de accionar el funcionamiento general del sistema de riego, la operatividad del sistema es monitoreado por internet con dispositivos móviles a través de un cerebro central como servidor. El programa fue desarrollado con los algoritmos necesarios para el procesamiento de información, control, comunicación y entorno para interactuar con el sistema de riego. Los principales elementos que integran el prototipo son:

Micro controladores. Se utilizaron dos tipos de placas Arduino, la MEGA y la NANO, la MEGA, es un micro controlador con 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida, 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16MHz, una conexión USB, botón de reinicio y una entrada para la alimentación de la placa.

El NANO, es un micro controlador más sencillo, con funciones básicas que permitieron el desarrollo de uno de los prototipos de forma amigable.

Sensor de Humedad de Suelo Tipo Higrómetro FC-28. Conocido también como higrómetro de suelo FC-28, es un sensor que mide la humedad del suelo, por la variación de su conductividad.

El FC-28 se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada, cuando la humedad supera un cierto umbral. Los valores obtenidos van desde 0 sumergido en agua, a 1023 en el aire o en un suelo muy seco. Un suelo ligeramente húmedo daría valores típicos de 600-700. Un suelo seco tendrá valores de 800-1023. La salida digital dispara cuando el valor de humedad supera un cierto umbral, que ajustamos mediante el potenciómetro. Por tanto, obtendremos una señal LOW cuando el suelo no está húmedo, y HIGH cuando la humedad supera el valor de consigna. El valor concreto dependerá del tipo de suelo y la presencia de elementos químicos, como fertilizantes.

Micro aspersor. Los micro aspersores están destinados a suministrar el riego mediante gotas muy finas, poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, que ayuda a ofrecer un mayor diámetro de cobertura, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota, y una mejor distribución del agua (sobre todo en uniformidad de distribución). Todos los componentes son intercambiables, permitiendo utilizar el diseño más apropiado para cada necesidad.

Sensor de flujo. El sensor de flujo permite determinar si hay circulación de un fluido en una tubería es decir estos sensores nos indican la ausencia o presencia de flujo, pero no miden el caudal. El sensor internamente tiene un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las 48 paletas y con esto el movimiento del rotor, el sensor de efecto hall envía los pulsos por uno de los cables del sensor, los pulsos deberán ser convertidos posteriormente con la placa de Arduino.

Electroválvula solenoide de 1/2' N/C 12VDC. Una electroválvula utilizada es una válvula electromecánica, que se energiza o desenergiza para abrir o cerrar un orificio de paso y permitir o bloquear el flujo de agua. Este dispositivo está diseñado para el control unidireccional (un solo sentido) y es sumamente práctico y eficiente, su instalación y mantenimiento son sumamente sencillos. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica, mediante magnetismo, en energía mecánica para actuar la válvula.

La electroválvula utilizada en el presente proyecto es normalmente cerrada, eso significa que cuando se aplica 12VDC en los dos terminales, la válvula se abre y el agua puede fluir. El flujo del líquido solo va en una sola dirección.

Sensor de corriente ACS712. El sensor de corriente ACS712 internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. El sensor nos entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente, para rangos de 5, 20 o 30 amperios respectivamente.

Sensor de voltaje (FZ0430). El sensor de voltaje FZ0430 es un módulo comercial que nos permite medir tensiones de hasta 25V de forma sencilla con un procesador Arduino. El funcionamiento del sensor está basado en un divisor de resistencia para reducir la tensión, de modo que vaya a una entrada analógica de una placa Arduino.

Pantalla LCD. Una pantalla LCD son dispositivos diseñados para mostrar información en forma gráfica. LCD significa Liquid Crystal Display (Display de cristal líquido). La mayoría de las pantallas LCD vienen unidas a una placa de circuito y poseen pines de entrada/salida de datos. Mediante el hardware software Arduino se podrán mostrar los datos obtenidos en la prueba experimental del proyecto.

Relay. Un relee o relay permite controlar el encendido y apagado de cualquier aparato que se conecte a una fuente de alimentación eléctrica externa. El relee hace de interruptor y se activa y desactiva mediante una entrada de datos. Gracias a esto podemos controlar el encendido de cualquier aparato.

Sensor de temperatura y humedad ambiente (DHT11). El DHT11 es un sensor de temperatura y humedad digital de bajo costo. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de entrada analógica). Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos.

Módulo Lector Memoria Micro SD. Este módulo permite leer y escribir tarjetas de memoria Micro SD estándar y SDHC (alta velocidad) por medio de una interfaz SPI. Es perfecto para almacenar datos desde tu Arduino o micro controlador.

Serial Real Time Clock. Real-Time-Clock Serie, es un dispositivo de bajo consumo de energía, completo con código binario decimal (BCD), reloj/calendario más 56 bytes de NV SRAM. Dirección y datos son transferidos a través de 2 hilos serie, bus bi-direccional. El reloj/calendario provee información de, segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. Reloj en tiempo real (RTC) Cuenta segundos, Minutos, horas, fecha del mes, mes, día de la semana, y año con año bisiesto Compensación Válido hasta 2100.

Funcionamiento general. Los sensores recolectan la información del suelo y medio ambiente, el microprocesador efectúa el proceso de información, analiza, compara y decide de acuerdo con la programación el funcionamiento o no de los actuadores. La información recolectada por los sensores y el estado de funcionamiento del sistema se envía por mensaje a dispositivos móviles.

Se diseñaron dos prototipos el primero mide temperatura y humedad de medio ambiente y envía la información a celular por medio de mensaje.

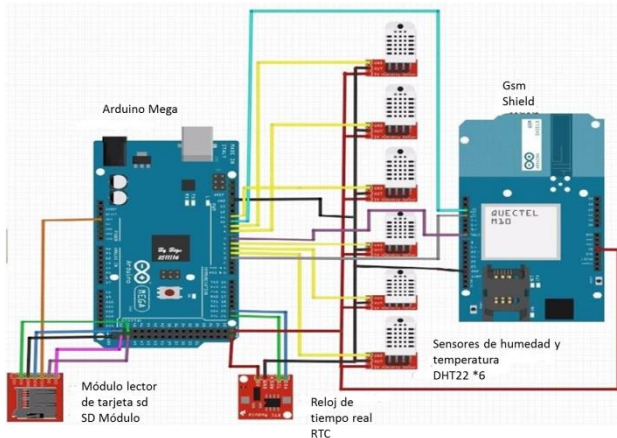


Figura 1 Prototipo I, con 6 sensores de humedad y temperatura, reloj de tiempo real, módulo de lector de tarjeta SD, GSM, y micro controlador arduino mega.

Fuente: *Elaboración Propia*

El prototipo II incluye dos higrómetros FC-28, display y electro válvula.

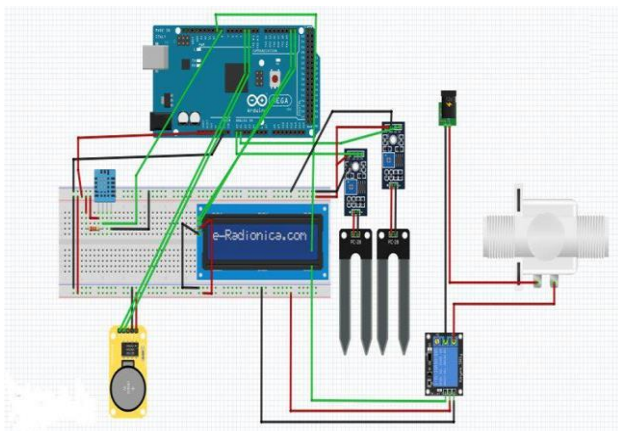


Figura 2 Prototipo II, con dos sensores de humedad de suelo, display, electroválvula, y sensor de humedad y temperatura.

Fuente: *Elaboración Propia*

Etapa 3. Programación del sistema y calibración de sensores

Se diseñó el algoritmo para la toma de decisiones que integra el balance de humedad del suelo, las condiciones climáticas y ajusta la dosis de riego y el momento de aplicación de acuerdo a los requerimientos hídricos tomando en cuenta la fenología del nogal. La calibración de sensores se efectúa in situ, de manera que el CC del suelo represente el 100% de humedad y a partir de ahí establecer los límites de trabajo del sistema.

Etapa 4. Pruebas de funcionamiento

Se diseñó un contenedor de base cuadrada de 0.5x0.5x0.7m el cual se llenó con tierra de características similares a las de un suelo franco.

Se efectuaron pruebas de funcionamiento de los sensores de humedad simulando condiciones de sequía, saturación media, suelo saturado y sobre saturado.

Posteriormente se efectuaron pruebas integrando el sensor de temperatura y humedad del medio ambiente y finalmente se incorpora la variable del ciclo anual del nogal, el cual introduce parámetros de variación de requerimientos de humedad en el suelo de acuerdo a la fenología del nogal.

Etapa 5. Prueba experimental

El prototipo actualmente se encuentra funcionando para un árbol de 10 años seleccionado como unidad de experimentación, con un sistema de riego por goteo.

Conforme al crecimiento radical del nogal que llega a alcanzar alrededor de dos veces el diámetro de la copa (Ávalos, 1994), se instalan los sensores a un radio aproximado de 5 m del tronco y considerando que los nogales extraen más del 90% del agua del estrato de suelo de 0 a 0.90m (Godoy, 1994), los sensores S1 y S2 se localizan a 0.3 y 0.45 m de profundidad. El sensor de temperatura y humedad del medio ambiente, se coloca a 1.6 m de altura situado estratégicamente para que no le de sombra.

El tipo de suelo se identifica como suelo franco y de acuerdo a la clasificación de propiedades físicas por textura propuesto por Israelsen y Hansen (1979), los parámetros promedio que lo identifican son: porosidad 47%, densidad 1.4 g/cm³, capacidad de campo 22% y agua disponible 17% en volumen. Se hace uso de una PC principal, módulos de comunicación y conexión a internet para la transferencia de datos a unidades remotas.

Resultados

Se determinó la estrategia de riego adecuada para optimizar el aprovechamiento del agua para el cultivo del nogal en función de su fenología y condiciones del medio ambiente y suelo, cabe hacer mención que la estrategia se presenta para un tipo de suelo específico, teniendo el sistema la capacidad de modificar los criterios de trabajo de acuerdo a las características del suelo, cultivo y condiciones de medio ambiente.

Se desarrolló el algoritmo computacional para la toma de decisiones bajo un esquema multi criterio. De acuerdo a la programación, el riego debe iniciar antes del periodo de brotación, los sensores de suelo permiten el riego hasta que el porcentaje de humedad se incrementa y llega al valor de referencia entonces, cierra. Cuando el sensor del ambiente detecta humedad igual o mayor al valor de referencia de humedad externa y la temperatura disminuye se envía la señal de cierre, lo cual sucederá cuando exista precipitación en forma sólida o líquida. Para la etapa de crecimiento del nogal, los valores de referencia de los sensores de suelo se programan con niveles de referencia distintos debido a que se encuentran localizados a diferente profundidad, el sensor S2 enviará señal de cierre cuando la humedad sea 70% y el S1 cuando la humedad sea del 40%.

En la tercera etapa, llenado de la almendra, el porcentaje de humedad se establece para ambos sensores en 100% que de acuerdo a la programación es el CC para el tipo de suelo elegido. El resto del año, es denominado, etapa de dormancia, el indicador de humedad en esta etapa, bajará hasta un 30%. En cualquiera de las etapas de crecimiento del nogal el sensor externo S4, al detectar incremento de humedad por precipitación enviará la señal de cierre de bombas.

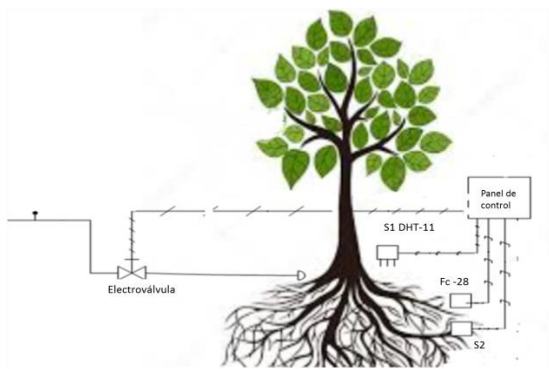


Figura 3 Muestra la ubicación de los sensores de humedad y temperatura en suelo y aire.
Fuente: Elaboración Propia

Distribución de los dispositivos de medición y control, S1 y S2 son sensores de humedad para el suelo, el S4 es un sensor de temperatura y humedad para el medio ambiente. Se diseñó un sistema integral que permite relacionar los requerimientos de humedad del árbol con las condiciones de humedad del suelo y clima.

En base a los requerimientos de humedad del árbol de nogal y la capacidad de campo del suelo, y con apoyo de los sensores se establecieron los indicadores y parámetros de trabajo requeridos para la programación de funcionamiento del sistema.

Nivel de humedad del suelo en % de Capacidad de Campo para suelo Franco.		
Etapa de crecimiento del nogal	Semana	% Humedad CC
Inicio de crecimiento	1 a 6	100
Crecimiento y desarrollo	7 a 19	70
Llenado de la almendra	19 a 29	100
Dormancia	29 a 52	30

Tabla 1 Etapa de crecimiento del nogal y nivel de humedad del suelo en % de la Capacidad de Campo (CC) para suelo FRANCO
Fuente: Elaboración Propia

Se diseñó un sistema inteligente que permite el uso eficiente del agua con capacidad de decidir el riego oportuno en base a las condiciones de suelo-árbol-ambiente.

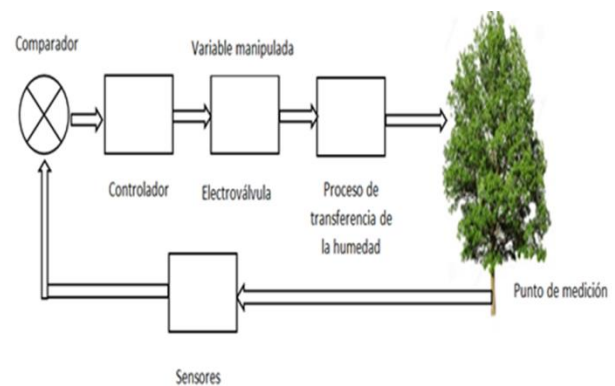


Figura 4 Sistema de lazo cerrado que esquematiza el funcionamiento del prototipo
Fuente: Elaboración Propia

Sistema es un sistema de lazo cerrado, los sensores recolectan la información, se recibe por el comparador que contiene la información de necesidades de hidratación del nogal, la información procesada es recibida por el controlador, es ahí donde se decide la acción a tomar y envío de señal para accionar o no la electroválvula que de paso al proceso de transferencia de humedad adicional o continuar con el estatus actual.

Se diseñó un sistema de comunicación inalámbrico y un sistema que permite la acción del sistema a distancia.

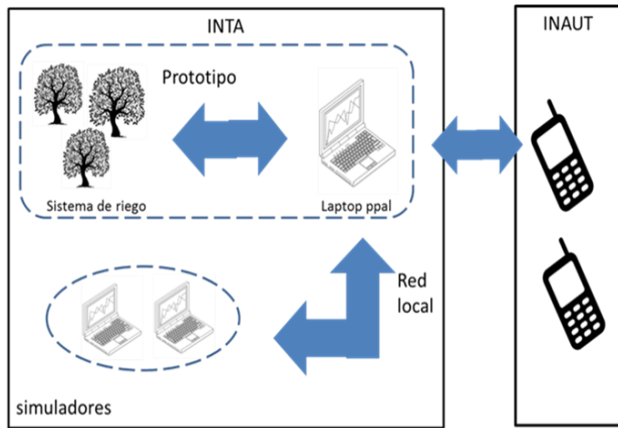


Figura 5 Esquema general de prototipo del sistema de riego inteligente

Fuente: Elaboración Propia

El prototipo I nos muestra la conexión que sirve de base para la comunicación a distancia y el accionamiento del sistema por medio de comandos sencillos enviados por mensaje, además de enviar en tiempo real los datos generados por el sistema.

Conclusiones

Se diseñó un sistema de riego inteligente que determina el momento oportuno y cantidad de agua a suministrar tomando en cuenta como indicadores las condiciones del medio ambiente, suelo y los requerimientos hídricos del nogal. El sistema integra la humedad del suelo, las condiciones climáticas, ajusta automáticamente las dosis de riego y los momentos de aplicación para hacer un uso eficiente del agua.

La comodidad, ahorro e incrementos productivos son algunos de los beneficios de la tecnología la cual ha ido avanzando e introduciéndose en todos los sectores y el campo no es la excepción.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica de Chihuahua, por darnos la oportunidad de desarrollar proyectos de interés a la comunidad que permiten la transferencia de tecnología en el ámbito educativo y empresarial.

A los estudiantes en Estadía de la carrera de Mecatrónica; Ramón Rodríguez Reyes y Brayan Torres Gómez, por su brillante participación en el diseño, desarrollo, programación y armado de los prototipos.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con el funcionamiento experimental del prototipo y generar información de al menos tres años, de manera que se pueda constatar no solo el ahorro de agua, sino el efecto si es que lo hay del árbol unidad experimental. Se recomienda efectuar el comparativo de consumo de energía, respecto a un sistema de riego similar al de experimentación.

Referencias

Alderete y Socios Consultoría Industrial. (junio de 2015). Estudio de Mercado Estratégico de la Nuez Pecanera. Chihuahua, Chih., México.

Antúnez Barría, A. (2009). Manejo del Riego en Nogales. En I. d. Agropecuarias (Ed.), *InnovaChile CORFO*, 22, págs. 1-4. Chile.

ASERCA. (2002). Nuez, análisis de su rentabilidad. *ASERCA*, 3-30.

Ávalos, M. (1994). Uso del agua durante la brotación y crecimiento inicial del brote en el nogal (*Carya illinoenses* K) a diferentes inicios de riego. *Tesis de posgrado*, 1-80. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios ITA No. 10.

Bretals. (1986). *Microcomputer based irrigation management and control system*. Paper N°86-1223 Sf. Joseph, MI.USA.: ASAE.

Chihuahua, G. d. (2010). *Análisis de competitividad, Nuez*. Recuperado el 4 de mayo de 2016, de <http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sdr/uploads/File/nuez.pdf>

CONAGUA. (2015). *Estadística del Agua en México*. México: SEMARNAT.

Cruz, F. A. (julio de 2017). Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz Baja California Sur, México. (T. Latinoamericana, Ed.) *scielo.org.mx*, 11.

Esparza, D. C., Herrera, P. E., & Solorio, R. L. (Diciembre de 2017). Sistema de Climatización Geotérmica de Baja Entalpía. (ECORFAN, Ed.) *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 3(10), 7.

ESPARZA-DELGADO, María del Carmen, PEREZ-ORTEGA, Eva Claudia y CHAVIRA-ALVAREZ, Alberto. Sistema de riego inteligente para el cultivo del nogal. *Revista de Ingeniería Innovativa*. 2019.

Ferreyra E., R., Sellés Van S., G., & Sellés M., I. (2001). Riego Deficitario Controlado en Nogales. *Estrategias de Riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales*, 58, 1-36.

Gobierno del Estado de Chihuahua. (2010). *Análisis de competitividad, Nuez*. Recuperado el 4 de mayo de 2016, de <http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sdr/uploads/File/nuez.pdf>

Godoy Avila, C. X.-J.-J.-E. (octubre-diciembre de 2005). Comportamiento Hídrico de hojas y frutos de nogal pecanero y su relación con la calidad y germinación de frutos. *Terra Latinoamericana*, 23, 505-5013.

Godoy, A. C. (1994). Manejo del agua en diferentes etapas fenológicas del nogal. *XII Conferencias Internacionales sobre cultivo del nogal*, (págs. 128-137). Delicias, Chihuahua.

Israelsen-Hansen. (1979). *Principios y Aplicaciones del Riego*. (Reverté, Ed.) España.

Martin, E. (2000). Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego. *Cooperative Extension*.

Méndez, G., & Irving, C. (2014). *Diagnóstico de la Red de valor Nuez en el Estado de Coahuila*. Saltillo, Coahuila: Universidad Autónoma Agraria, Antonio Narro, División de ciencias económicas.

Orona, I. (mayo de 2013). Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya Illinoensis Koch*) en el norte de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3).

SAGARPA. (2012). *La Nuez Pecanera Mexicana "La reina de las frutas secas"*. Recuperado el 4 de mayo de 2016, de http://2006-2012.sagarpa.gob.mx/agricultura/productodetemporada/_layouts/mobile/disppform.aspx?List=75320ba8-c685-403d-a5aa-b32646bacf02&View=5050ddad-bb6c-4d20-8e46-97b7179e8410&ID=68

SAGARPA, & F. P. (2013). *Demanda del Sector 2011-2013*. México.

Santos Pereira, L., De Juan Valero, J. A., Picornell Buendía, M. R., & Tarjuelo, M.-B. J. (2004). *El riego y sus tecnologías*. (E. E.-A. Lisboa, Ed.) Lisboa, Portugal: CREA-UCLM.

Tarango, R. S. (2012). *Manejo del nogal pecanero con base a su fenología*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte-Centro, Campo experimental Delicias. Delicias, Chihuahua, México: SAGARPA, Gobierno Federal.

Valdez G., B. (2001). *Irrigación. En: El nogal pecanero en Sonora*. Sonora, Mexico: CECH-INFAP.