

Sistema Inteligente para controlar sistemas de riego en México*¹

Intelligent System to control irrigation systems in Mexico

Sistema inteligente para controle de sistemas de irrigação no México

GLORIA DEL CARMEN RENDÓN SUSTAITA², JOSÉ ÁNGEL DOMÍNGUEZ LÓPEZ³,
MYRIAM ARACELI MARTÍNEZ RODRÍGUEZ⁴, ÓSCAR ADRIÁN GARAY MOLINA⁵,
DANTE ISRAEL JUÁREZ PEDRAZA⁶

Recibo: 04.07.2017 – Aprobación: 08.03.2018

Resumen: *El consumo de agua en México es la octava mayor en el mundo, principalmente debido al tamaño de la población (11° país más poblado). El presente artículo muestra como al aplicar la inteligencia artificial para el control de los sistemas de riego en las zonas agrícolas de México, este mejora su funcionamiento al controlar la salida de agua a partir de que el sistema inteligente manipula los regadores de acuerdo a*

* Modelo para la citación de este artículo / Template for citation of this article / Modelo para a citação deste artigo:

RENDÓN SUSTAITA, Gloria del Carmen; DOMÍNGUEZ LÓPEZ, José Ángel; MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, Myriam Araceli; GARAY MOLINA, Óscar Adrián & JUÁREZ PEDRAZA, Dante Israel (2017). Sistema Inteligente para controlar sistemas de riego en México. En: Ventana Informática No. 37 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 45-57. ISSN: 0123-9678

1 Reporte de caso / Case report / Relato de caso

Proyecto / Project / Projeto: *Sprinkler in Software*

Periodo / Period / Período: 01/01/2015 - 31/01/2017

Institución / Institution / Instituição: Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México).

2 Maestra en Planeación y Sistemas / Master in Planning and Systems / Mestrado em Planejamento e Sistemas. Docente / Professor / Professor, Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México). gloria_rendon77@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-7769-5491>

3 Ingeniero Mecánico / Mechanical engineer / Engenheiro Mecânico. Docente, Professor / Professor / Professor, Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México). dominguez2373@hotmail.com.

4 Licenciada en Relaciones Industriales / Bachelor in Industrial Relations / Bacharel em Relações Industriais. Docente / Professor / Professor, Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México). tareas_tecslp@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1339-1226>

5 Maestro en Ingeniería Eléctrica / Master in Electrical Engineering / Mestrado em Engenharia Elétrica. Docente / Professor / Professor, Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México). osadgamo@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5529-602X>

6 Ingeniero en Sistemas Computacionales / Computer Systems Engineer / Engenheiro de Sistemas de Computador. Pasante / Intern / Estagiário, Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México). dantesprinkler@outlook.com. <https://orcid.org/0000-0002-9085-3773>

las necesidades que requiere cada parte del sembradío. Los procesos utilizados en los sistemas de riego automatizados se enfrentan a un problema único, no se han mejorado para el aprovechamiento óptimo de este vital líquido, haciendo un gasto innecesario de la misma, estos sectores se dividen en México en sector agrícola, sector privado y sector público. En la actualidad, en México no existe un software ni proceso parecido al sistema de riego inteligente Magros, que utilizando electroválvulas a partir de sensores de visión, ofrece una solución pertinente.

Palabras clave: *Agua, inteligencia artificial, sistemas inteligentes, sistemas de riego.*

Abstract: *Water consumption in Mexico is the eighth largest in the world, mainly due to the size of the population (11th most populated country). This article shows how to apply artificial intelligence for the control of irrigation systems in agricultural areas of Mexico, this improves its operation by controlling the output of water from which the smart system manipulates the irrigators according to the needs which requires each part of the crop. The processes used in the automated irrigation systems face a unique problem, they have not been improved for the optimal use of this vital liquid, making an unnecessary expenditure of it, these sectors are divided in Mexico in agricultural sector, private sector and public sector. At present, in Mexico there is no software or process similar to the Magros intelligent irrigation system, which using electrovalves from vision sensors, offers a relevant solution.*

Keywords: *Water, artificial intelligence, intelligent systems, irrigation systems.*

Resumo: *O consumo de água no México é o oitavo maior do mundo, principalmente devido ao tamanho da população (11º país mais povoado). Este artigo mostra como aplicar inteligência artificial para o controle de sistemas de irrigação em áreas agrícolas do México, o que melhora a operação controlando a saída de água da qual o sistema inteligente manipula os sprinklers de acordo com as necessidades que exige cada parte da cultura. Os processos utilizados nos sistemas de irrigação automatizados enfrentam um problema único, não foram melhorados para o uso ótimo deste líquido vital, fazendo uma despesa desnecessária, esses setores estão divididos no México em setor agrícola, setor privado e setor público. Atualmente, no México, não há software ou processo semelhante ao sistema de irrigação inteligente Magros,*

que usando eletroválvulas de sensores de visão, oferece uma solução relevante.

Palavras-chave: *Água, inteligência artificial, sistemas inteligentes, sistemas de irrigação.*

Introducción

Aunque, de acuerdo con McMahon et al. (2011, 4), la agricultura mexicana es un sector relativamente pequeño, a la baja con respecto a la economía total y representando cerca del 4% del PIB, cada vez es más moderna e integrada con el resto de la economía. Así, el empleo es importante en estas actividades no agrícolas (selección, envasado y refrigeración de verduras y fruta frescas, así como tratamiento de productos silvícolas) y menos significativo en producción y distribución de insumos, maquinaria y equipo agrícolas, por lo que estimar un *PIB agrícola ampliado* cerca de 8%, tal vez sea demasiado.

La agricultura se ha tecnificado buscando obtener altas productividades e índices de utilidad, fenómeno que se ha incrementado desde el surgimiento de la revolución verde el siglo anterior. Uno de los aspectos más involucrados en la producción agrícola es la utilización del agua mediante sistemas de riego: en el caso mexicano *«el rendimiento en toneladas por hectárea de la superficie bajo riego es de 2.2 a 3.3 veces mayor que la superficie en régimen de temporal»* (Conagua, 2016, 78), lo que justifica que su mayor uso del agua sea agrícola, y más cuando *«dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm»* (Conagua, 2016, 14).

«México ocupa el séptimo lugar mundial en términos de superficie con infraestructura de riego con 6.5 millones de hectáreas, de las cuales un poco más de la mitad corresponde a 86 distritos de riego, y el restante a más de 40 mil unidades de riego (...). El 35.9% del agua concesionada para uso agrupado agrícola es de origen subterráneo (...). Tomando en cuenta que existen variaciones anuales, el volumen de agua subterránea concesionada para este uso agrupado es 19.3% mayor que el de 2006» (Conagua, 2016, 78).

La incidencia de las actividades humanas, y en especial las agropecuarias, sobre los recursos hídricos, el suelo y el aire, parecen

ser obvias⁷. No obstante, está condicionada por la tecnología utilizada, la fuente de obtención de los recursos, el tratamiento de residuos, entre otros factores. Sin embargo, no puede ignorarse una amenaza realmente y creciente: el cambio climático.

«El cambio climático a largo plazo, en particular el calentamiento del planeta, podría afectar a la agricultura en diversas formas, y casi todas son un riesgo para la seguridad alimentaria de las personas más vulnerables del mundo:

- *Sería menos previsible el clima en general, lo que complicaría la planificación de las actividades agrícolas.*
- *Podría aumentar la variabilidad del clima, ejerciendo más presión en los sistemas agrícolas frágiles. (...)*
- *Las zonas climáticas y agroecológicas se modificarían, obligando a los agricultores a adaptarse, y poniendo en peligro la vegetación y la fauna»* (FAO, 1997)

No obstante, aseguran Cramer et al. (2017, 4), que el cambio climático dentro del sistema alimentario afectará la seguridad nutricional por la reducción de la ingesta alimentaria, desnutrición y desencadenamiento de enfermedades, a su vez, las actividades agropecuarias afectarán el cambio climático a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, e incluso podrían contribuir a mitigarlo.

Según Conagua (2016, 205), el impacto de las actividades humanas sobre los recursos hídricos puede medirse mediante la huella hídrica⁸ (*water footprint*), creada en 2002 por Hoekstra, la cual ha evolucionado para convertirse en un mecanismo que permite comprender cómo afectan los hábitos de consumo y producción de la población. Para su cálculo se incluyen *«tanto el agua extraída de los acuíferos, lagos, ríos y arroyos (denominada agua azul), como el agua de lluvia que alimenta los cultivos de temporal (agua verde). Otro concepto empleado en el*

⁷ Por ejemplo, en el estado de Jalisco, México, *«los abatimientos de los mantos freáticos por las actividades agropecuarias son notorios, poniendo en riesgo la sustentabilidad de dicha actividad económica en el estado y la región occidente, tanto por el estrés ocasionado al recurso como a los efectos potenciales en suelo (como la desertificación y la transformación de suelos naturales a agrícolas) y la aportación de gases de efecto invernadero a la atmósfera»* (Rojas & Vallejo, 2017, 24).

⁸ Conagua (2016, 192) señala que la huella hídrica mexicana es de 1978 m³/hab/año, con 19% por uso industrial y 70% por uso agrícola.

Además, vale anotar que *«un concepto íntimamente ligado al de la huella hídrica es el que se refiere al contenido de agua virtual. El contenido de agua virtual de un producto es la cantidad de agua empleada en su proceso productivo»* (Conagua (2016, 205).

cálculo de la huella hídrica es el agua gris, que es el volumen de agua dulce requerido para asimilar la carga de contaminantes».

Ante la necesidad de optimizar el recurso hídrico en los procesos de explotación agropecuaria, este artículo presenta el caso de Magros, una tecnificación de los sistemas de riego basado en el desarrollo de un software y hardware en el cual a base de información que se recopila de los cultivos se crea un plan de riego con parámetros agronómicos y climatológicos que es en tiempo real, sin necesidad de afectar la infraestructura del sistema de riego existente.

1. Antecedentes

1.1 Sistema de seguimiento de parámetros ambientales en plantaciones de café

Abad (2016) plantea el diseño e implementación de un sistema de medición y monitoreo remoto basado, principalmente, en la instalación y operación de una estación meteorológica automática, para el seguimiento remoto de las condiciones ambientales de una plantación de café en la sierra piurana (Perú). Para ello, la estación de dota con sensores para medir los parámetros climáticos (temperatura, humedad relativa, radiación solar y lluvia), edáficos (temperatura y humedad del suelo a tres profundidades diferentes) y de la planta (humedad de la hoja). El seguimiento remoto permite identificar las condiciones ambientales de la plantación y relacionarlas con su salud y productividad, para contribuir en la decisión con mejor criterio, sobre el manejo de la plantación (riego, poda, fumigación, fertilización, entre otras).

1.2 Drones y sistemas de información geográfica en la ingeniería hidroagícola

La gestión de zonas agrícolas exige el monitoreo de variables del sistema agua-suelo-planta-atmósfera. Este monitoreo consume tiempo y recursos económicos, instrumentales y humanos, por lo que frecuentemente es deficiente, disperso y de dudosa calidad. Por ello, Ojeda, Flores & Unland (2014), permiten que el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) cuente con una plataforma práctica, confiable y económica, mediante el tratamiento de imágenes obtenidas por los VANT, para fortalecer la ejecución de proyectos en las áreas de planeación, operación, administración y evaluación de las zonas de riego del país.

1.3 Gestión del riego enfocada a variabilidad climática en el cultivo de papa

Sifuentes et al. (2016), desarrollan una plataforma computacional para la programación integral y gestión de riego por Internet en el cultivo de papa, ajustada a las demandas hídricas del cultivo de papa debido a la variabilidad climática en el Valle del Fuerte, Sinaloa, México. Se fundamenta en un modelo de programación integral del riego basado en grados-día crecimiento (GD), integrándose al software *Irrimodel* operado a través de Internet, que permite elaborar planes de riego bajo diferentes escenarios climáticos, disponibilidad de agua y manejo; pronosticar el riego con alta precisión de acuerdo con el desarrollo del cultivo y acumulación de GD; y generar/enviar solicitudes de riego al módulo prestador del servicio.

1.4 Sistema de monitoreo de parámetros ambientales y del suelo para uso eficiente del recurso hídrico

Jara et al. (2014) implementan un sistema de monitoreo de parámetros de temperatura, humedad ambiental, y humedad del suelo desde una computadora con *Labview* y *smartphone* para el uso eficiente del recurso hídrico en la agricultura, utilizando tarjetas *Arduino* y tecnología *Zigbee* para transportar inalámbricamente los datos medidos desde sensores hasta un centro de monitoreo, donde se mostrarán los datos a través de una interfaz visual elaborada en *Labview* y desde una aplicación desarrollada para Android. Este proyecto puede ser aplicado también para conocer el tipo de suelo o la productividad del suelo, así como para otros tipos de parámetros (sensores de humo, por ejemplo).

1.5 Automatización, monitoreo y control remoto de un sistema de riego agrícola

Pérez et al. (2014), presentan un prototipo de bajo costo de un sistema de riego agrícola automatizado, monitoreado y controlado remotamente desde un teléfono celular, con la utilización de *Arduino* para la automatización del sistema y *Android* facilita la interacción con el usuario, mostrándole los datos del sistema, brindándole la opción de monitorear y controlar el sistema de riego a través de internet.

1.6 Prototipo de sistema de riego automatizado

Alomoto & Ramírez (2016) desarrollan el prototipo de un sistema de riego por goteo y aspersión automáticos, con un dispositivo electrónico de control que integra y gestiona un servidor web con una base de datos

para recibir y enviar señales, tanto de control como de información, siendo una página web la interfaz de comunicación entre el usuario y el sistema, en la cual se configuran los tiempos de regadío de los cultivos y por medio de un sensor de flujo se mide la cantidad de agua utilizada cada vez.

1.7 Prototipo de máquina inteligente de fertirriego de control remoto

Ramírez, Fuentes & Fuentes (2016), presentan un prototipo de máquina inteligente de fertirriego de control remoto y bajo costo desarrollado por la empresa peruana RITEC, que optimiza el proceso de control y monitoreo remoto de inyección de nutrientes y ácidos en un sistema de riego tecnificado, compuesto por un hardware electrónico de bajo costo de fabricación nacional, componentes mecánicos de acción, control y un software virtual que almacena, procesa y transfiere datos e información hacia el dispositivo instalado en un sistema de riego.

1.8 Sistema automatizado para riego por goteo en aguacate

Salcedo (2014), presenta un sistema para medir la humedad de suelo de los cultivos (específicamente palta o aguacate *Hass*), que se transforma a una señal eléctrica, la cual es acondicionada para su transmisión y posterior procesamiento, que a su vez es digitalizada por el conversor análogo digital (ADC), y se compara con un nivel de referencia, para que el controlador con el actuador (válvula solenoide) decida apertura/cierre de la misma, con el objetivo de limitar el flujo de agua aplicada. Además, cuenta con un software de monitoreo basado en *Labview* que permite visualizar la variable de proceso en una interfaz gráfica.

1.9 Monitoreo de captación, almacenamiento y distribución de agua potable

Quishpe (2017), diseña un prototipo para monitorear los procesos de captación, almacenamiento y distribución de agua potable para la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EP EMAPAR), que precisa de un sistema *SCADA web*, a fin de orientar la toma de decisiones y la ejecución de acciones técnicas, para gestionar de manera adecuada y eficiente el recurso hídrico, y así minimizar desperdicios y fugas, reducir costos de operación, garantizar la repartición equitativa y oportuna del líquido vital y elevar la imagen institucional. Se obtienen los datos por medio de sensores y transductores, que transmiten señales al PLC (programado con *TIA Portal*), y mediante una Interfaz Hombre

Máquina (HMI) se muestra la información al operador del sistema, para lo cual se emplea *Labview*.

1.10 Sistema de supervisión y control en estaciones de riego agrícola

Valbuena (2016) describe la elaboración y elementos utilizados para supervisar/controlar un sistema de riego agrícola, mediante comunicación remota que integra los componentes del sistema de supervisión y el programa OPC utilizado, así como la interfaz gráfica en el PLC y el uso de *Modbus* con un variador de frecuencia.

1.11 Sistema de alimentación para una estación de bombeo agrícola

Garrido (2017), pretende un sistema de riego autónomo, independiente de la red eléctrica, a la vez que un ahorro económico mediante la utilización de energías alternativas en una instalación de bombeo agrícola situada en el término de Tobarra, Albacete, para lo que diseña el sistema de la automatización, control y monitorización de las mismas, que permita administrarse por sí misma y que aporta mejoras de cara al uso de las nuevas energías.

1.12 Control automatizado de sistema de riego por canales

Ortega (2015), ha realizado la automatización un sistema controlado por periodos de tiempo que el administrador del riego debe ingresar en la interfaz gráfica web, donde puede establecerse el horario correspondiente o usar la opción de control manual. En el desarrollo del presente proyecto de investigación se describe tanto la construcción física como lógica de un sistema de automatización web, el cual mediante algoritmos dan al sistema la opción de un control automático con base en sensores y efectores que se le ha dotado a la placa *PLC Arduino*. En el diseño, desarrollo e implementación del prototipo para el sistema, se ha usado la metodología XP.

2. Metodología

2.1 Proceso

El proyecto se realiza mediante los siguientes pasos:

- Un registro para determinar el tipo de suelo, tipo de cultivo, sistemas de riego que se administrarán, personas que participarán y tipo de semillas a cultivar.

- Instalación los módulos de *Magros* en los de control de sistema de riego, pudiendo instalarse entre 6 y 18 pasos de agua (electroválvulas y bombas) sin importar las superficies a administrar.
- Recopilación de la información en la base de datos de las características necesarias para que el software pueda realizar los encendidos y apagados a las tarjetas conforme el usuario lo requiera.
- Conexión de la placa *Magros* vía *Wifi* o *Bluetooth*, sincronizada con la nube para enviar los datos de encendidos, apagados y notificaciones a las placas.
- Recopilación de toda la información cada día y envío de los prendidos/apagados de los sistemas de riego. En caso de problemas de conexión o de la nube, el sistema tiene precargado los apagados/prendidos de los últimos siete días.
- Definición, en una tabla, de los factores climáticos en tiempo real (actualizados cada 10 minutos) donde el programa se apoya para que funcione como un detector de humedad.
- Representación gráfica de los resultados de agua ahorrada, tiempo de riegos, proceso de recuperación del campo y producción de productos, en caso que así lo necesite.

2.2 Herramientas de software y hardware utilizadas en el desarrollo de Magros

Para la plataforma se utiliza la programación de *Visual Estudio*, con desarrollo en *.net*, *C Sharp* y *ASP.net*, mientras el desarrollo de bases de datos se realiza en *SQL Server* y almacenamiento en *Amazon Web Services*. El desarrollo de la aplicación móvil se realiza en plataforma *xamarin* para exportar en *Android*, *IOS* y *Windows Phone*, en tanto la plataforma de desarrollo *hardware particle*.

3. Resultados y discusión

3.1 Descripción de resultados

El principal resultado del proyecto presentado es *Magros* (Figura 1), con el cual se obtiene un ahorro en el consumo de agua en los sembradíos de hasta un 35%, además de contar con un monitoreo remoto de los sistemas de riego, mediante aplicaciones móviles, desde la siembra, el cultivo y el seguimiento para que el cliente pueda tener desde la seguridad de disminuir pérdidas de producto y reducir insumos, tanto a cielo abierto como en invernaderos. En el proyecto se utilizan sistemas

al alcance de cualquier persona, utilizando regadores promedios con el alcance necesario para agricultores, campos, áreas verdes, etc.

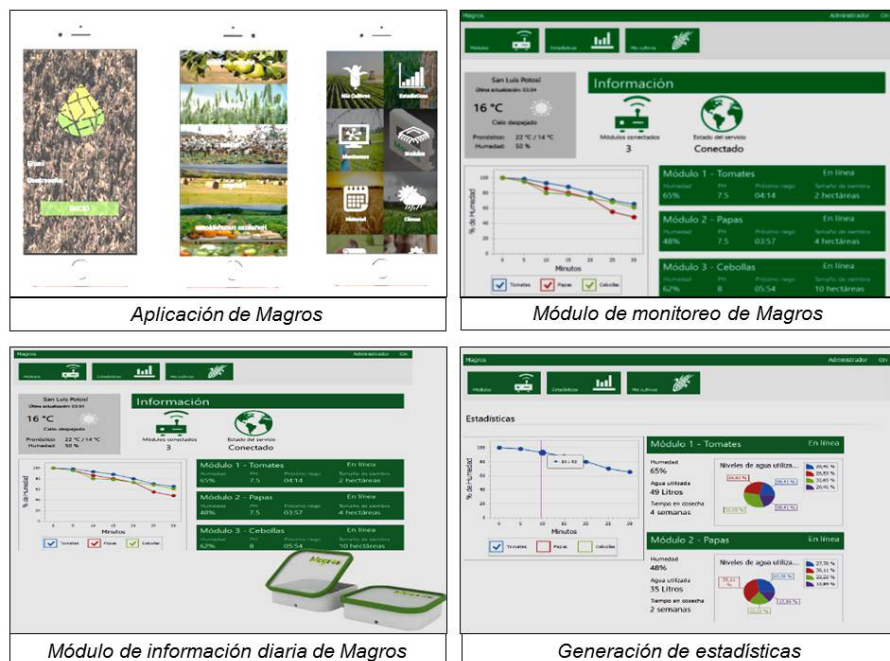


Figura 1. Imágenes de Magros

En el momento, se encuentra en etapa de culminación y estandarización, ofreciendo la seguridad de cubrir lo requerido por el agricultor y/o el agrónomo en México, trabajando conjuntamente con asociaciones que se encargan del cuidado de la investigación para enfocar los prototipos finales a un producto que se introduzca al mercado lo más rápido posible. Para ello, se trabaja en asocio con la Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) en San Luis Potosí, además con el Inifap (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) y la UASLP (Universidad Autónoma de San Luis Potosí), específicamente con la Facultad de Agronomía, para tener los últimos alcances conforme las regulaciones y cultivos.

Magros tiene la meta no solo de tecnificar los sistemas de riego a corto plazo en México sino también de incorporar esta tecnología en otros países que cuentan con similar problemática. Para ello, se busca incorporarlo paulatinamente a bajos costos y al alcance de todo el mercado con una base experimental y tecnológica.

3.2 Discusión de resultados

A partir del desarrollo actual de Magros, en este momento se trabaja con ayuda de Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) en San Luis Potosí, México, en colaboración con INIFAP y en la facultad de agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, para tecnificar los sistemas de riego con el sistema inteligente Magros, para incorporar esta tecnología en otros países que cuentan con este problema ya que no solo aqueja al país o continente al contrario es un problema sistemático en cualquier lugar del mundo ya que el interactuar con factores externos ha sido una problemática recurrente desde el inicio de la tecnificación de los sistemas agrícolas, para ello se busca incorporar de poco a poco las tecnologías al mercado pero con bajos costos y al alcance de todo el mercado con una base experimental y tecnológica, ayudando en los próximos años a romper esa barrera de tecnificación ya que será la principal meta que Magros se ha puesto y a largo plazo será una constante tecnificación de los sistemas de riego en base a una innovación disruptiva.

4. Conclusiones

Magros se encuentra en una etapa de culminación y estandarización, ofreciendo la seguridad de cubrir lo que requiere el agricultor y agrónomo en México, trabajando conjuntamente con asociaciones que se encargan del cuidado de la investigación para enfocar los prototipos finales a un producto que se introduzca al mercado lo más rápido posible. A partir de obtener un sistema inteligente que es capaz de registrar las características del tipo de suelo, cultivo y sistema de riego a controlar, al obtener las estadísticas necesarias para que el sistema determine la cantidad de agua que debe soltar el aspersor para apoyar en el ahorro de agua. También un gran avance es el haber agregado en tiempo real los factores climáticos, debido a que apoya a que funcionen los detectores de humedad en tiempo real.

En una segunda etapa del proyecto, se utilizarán sensores de humedad, temperatura, presión, velocidad del viento. Los cuales se conectarán al sistema de riego de manera inalámbrica para monitorear en tiempo real las condiciones del clima y del cultivo.

Referencias bibliográficas

- ABAD ALAMEDA, Ana Sofía (2016). Diseño e implementación de un sistema de seguimiento de parámetros ambientales en plantaciones de café [en línea]. Tesis (Máster en Ingeniería Mecánico - Eléctrica con mención en Automática y Optimización). Piura (Perú): Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. 147 p. <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2639/MAS_IME_AUT_012pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consulta: 09/10/2017]
- ALOMOTO BARAHONA, Edison David & RAMÍREZ ENCALADA, Jhony Fernando [2016]. Diseño y construcción de un prototipo de sistema de riego automatizado para la granja experimental Nono de la UDLA [en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero en redes y Telecomunicaciones). Quito (Ecuador): Universidad de las Américas, Facultad de Ingenierías y Ciencias Agropecuarias. 82 p. + Anexos <<http://200.24.220.94/bitstream/33000/6179/4/UDLA-EC-TIRT-2016-36.pdf>> [consulta: 10/10/2017]
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, CONAGUA (2016). Estadísticas del Agua en México, edición 2016 [en línea]. Ciudad de México (México): Comisión Nacional del Agua - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 275 p. <http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf> [consulta: 09/10/2017]
- CRAMER, Laura; HUYER, Sophia; LAVADO, Ángela; LOBOGUERRERO, Ana María; MARTÍNEZ BARÓN, Deissy; NYASIMI, Mary; THOMAS, Timothy; THORNTON, Philip; VAN ETEN, Jacob & VAN WIJK, Mark (2017). Métodos propuestos para evaluar el impacto potencial del cambio climático sobre la seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y la República Dominicana [en línea]. Documento de trabajo No. 196. Copenhague (Dinamarca): Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS). 54 p. <<https://cgispace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/80049/WP196.pdf?sequence=3&isAllowed=y>> [consulta: 09/10/2017]
- GARRIDO AGUILAR, Javier (2017). Diseño, optimización y adaptación de un sistema de alimentación mediante energía solar, para una estación de bombeo agrícola [en línea]. Trabajo de fin de carrera (Ingeniero Industrial). Valencia (España): Universitat Politècnica de València, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales <<http://hdl.handle.net/10251/88813>> [consulta: 09/10/2017]
- JARA, Marco; ARAUCO, Lex; ABAD, Pablo & PAUCAR, Ronald (2014). Implementación de un Sistema de Monitoreo de Parametros Ambientales y del suelo desde dispositivos fijos y móviles usando la Tecnología Zigbee para el uso eficiente del recurso hídrico en la Agricultura [en línea]. En: VI Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones, COMTEL 2014 (22-25/10/2014). Lima (Perú): Universidad Inca Garcilaso de la Vega. p. 288-292. <<http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/788/COMTEL-2014-288-292.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [consulta: 10/10/2017]
- MCMAHON, Matthew A.; VALDÉS, Alberto; CAHILL, Carmel & JANKOWSKA, Ania (2011). Análisis del extensionismo agrícola en México [en línea]. París (Francia): OCDE - SAGARPA. 72 p. <<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/EXTENSIONISMO/ESTUDIO%20OCDE%20EXTENSIONISMO.pdf>> [consulta: 08/10/2017]
- OJEDA BUSTAMANTE, Waldo; FLORES VELÁZQUEZ, Jorge; UNLAND WEISS, Helene K. (2014). Drones y sistemas de información geográfica en la ingeniería hidroagrícola [en línea]. Jiutepec, (Mor. México): Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Coordinación de Riego y Drenaje, Subcoordinación de Ingeniería de Riego. Informe Final Proyecto RD1407.1. 105 p. <<http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1347/RD-1407.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [consulta: 10/10/2017]
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO (1997). La agricultura y los cambios climáticos: la función de la FAO [en línea]. FAO Noticias (02/12/1997). Roma (Italia): FAO. <<http://www.fao.org/noticias/1997/971201-s.htm>> [consulta: 07/10/2017]
- ORTEGA KIRBY, Pablo Geovanny (2015). Diseño y montaje de un prototipo para el control automatizado del sistema de riego por canales en el área de Yamburara (Vilcabamba) haciendo uso de hardware y software open source [en línea]. Tesis (Ingeniero de Sistemas). Loja (Ecuador): Universidad Nacional de Loja, Área de la energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. 167 p. + Anexos <<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11335>> [consulta: 09/10/2017]
- PÉREZ, Bladimir J.; KOO, José M.; GARCÍA, Fernando & CARMONA, Juan (2014). Automatización, monitoreo y control remoto de un sistema de riego agrícola con código abierto [en línea]. En: 12th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, LACCEI'2014 (22-24/07/2014). Guayaquil (Ecuador): LACCEI - ESPOL. p. 1-9. ISBN: 978-0-9822896-7-9 <<http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/ReferedPapers/RP132.pdf>> [consulta: 10/10/2017]
- QUISHPE ESTRADA, Fátima de los Ángeles (2017). Diseño de un prototipo de sistemas SCADA para el monitoreo de captación, almacenamiento y distribución de agua potable para la EP-EMAPAR [en línea]. Trabajo de Titulación, modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo (Magister en Sistemas de Control y Automatización Industrial). Riobamba (Ecuador): Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 69 p. + Anexos <<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7337>> [consulta: 09/10/2017]

- RAMÍREZ LORA, Víctor; FUENTES ALCÁNTARA, Antonio Junior & FUENTES ALCÁNTARA, Susana Elizabeth (2016). Desarrollo de prototipo de máquina inteligente de fertiriego de control remoto y bajo costo en la región Lambayeque [en línea]. En: Revista Tzhoeco, Vol. 8, No. 02. Chiclayo (Perú): Universidad Señor de Sipán. e-ISSN 1997-3985. <<http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/406/395>> [consulta: 10/10/2017]
- ROJAS RAMÍREZ, Juan Pablo & VALLEJO RODRÍGUEZ, Vallejo Rodríguez (2017). Impactos ambientales por las actividades agropecuarias de Jalisco, México: primera década del siglo XXI [en línea]. En: Revista Estudios Ambientales, Vol. 5, No. 1. Tandil (Argentina): Universidad Nacional del Centro. p. 3-28. ISSN: 2347-0941 <<http://ojs.fch.unicen.edu.ar/index.php/estudios-ambientales/article/view/142/121>> [consulta: 19/10/2017]
- SALCEDO TORRES, Abio Diógenes (2015). Diseño de un sistema automatizado para riego por goteo para palta Hass [en línea]. Tesis (Ingeniero Electrónico). Lima (Perú): Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 64 p. + Anexos <<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6072>> [consulta: 09/10/2017]
- SIFUENTES, Ernesto; MACÍAS, Jaime; OJEDA, Waldo; GONZÁLEZ, Víctor M.; SALINAS, Daniel A.; QUINTANA, José G. (2016). Gestión del riego enfocada a variabilidad climática en el cultivo de papa: aplicación al Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa, México [en línea]. En: Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. 7, No. 2 (mar-abr). Jiutepec, (Mor, México): Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). p. 149-168. e-ISSN: 2007-2422 <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000200149> [consulta: 10/10/2017]
- VALBUENA GARCÍA, Julio César (2016). Diseño de un sistema de supervisión y control orientado a estaciones de riego para la industria de cultivos [en línea]. Trabajo de grado (Ingeniero en control). Bogotá (Colombia): Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. 45 p. + Anexos <<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5291>> [consulta: 09/10/2017]