



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Aguado Rodríguez, Graciano Javier; Quevedo Nolasco, Abel; Castro Popoca, Martiniano; Vázquez Peña, Mario Alberto

Servicio de riego mediante internet y dispositivos móviles en la zona del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 5, núm. 3, abril-mayo, 2014, pp. 341-352

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263130497001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Servicio de riego mediante internet y dispositivos móviles en la zona del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas\*

## Irrigation service via internet and mobile devices in the area of the Graduate College of Agricultural Sciences

Graciano Javier Aguado Rodríguez<sup>1§</sup>, Abel Quevedo Nolasco<sup>1</sup>, Martiniano Castro Popoca<sup>1</sup> y Mario Alberto Vázquez Peña<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. C. P. 56230. Tel. 01(595) 8046800. Montecillo, Estado de México. (aguado.graciano@colpos.mx; anolasco@colpos.mx; mcastro@colpos.mx). <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. C. P. 56230. Tel. 01(595) 5921500. Chapingo, Estado de México. (mvazquezp@correo.chapingo.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: aguado.graciano@colpos.mx.

### Resumen

En la actualidad se dispone de herramientas para conocer en tiempo real los requerimientos de riego en las plantas. El objetivo de esta investigación fue crear un sistema para dar recomendaciones de necesidades de agua a las diferentes unidades (cultivo parcela) del área de influencia del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, mediante internet y dispositivos móviles. El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, *Campus* Montecillo y se desarrolló en diferentes fases. La primera consistió en conectar una estación meteorológica Campbells con un servidor e instalar las aplicaciones necesarias para obtener mediciones de los elementos meteorológicos y almacenarlos en una base de datos en MySQL. Posteriormente se creó un sitio web cuyo objetivo es obtener datos necesarios para el realizar balances hídricos. Los datos se almacenaron en tablas de datos contenidas en el gestor de base de datos MySQL (Kofler, 2005). La última interface consistió en implementar el servicio de mensajería por medio de un celular en el momento que se requiera el riego. Los resultados mostraron que se puede tener un sistema automatizado que esté informando constantemente el estado de humedad en la parcela al usuario.

### Abstract

Currently, there are available tools for real-time irrigation requirements in plants. The objective of this research was to create a system for water needs recommendations to the different units (cultivation plot) of the area of influence of the Graduate College of Agricultural Sciences, through the internet and mobile devices. The study was performed in the facilities of the Graduate College of Agricultural Sciences, *Campus* Montecillo and developed in different phases. The first was Campbells connect a weather station with a server and install the necessary steps to obtain measurements of meteorological elements and store them in a MySQL database applications. Subsequently a website aiming to provide data needed to perform water balance was created. The data is stored in data tables contained in the database manager MySQL (Kofler, 2005) data. The last interface was to implement the messaging service through a cell at the time that irrigation is required. The results showed that an automated system may constantly inform the state of moisture in the plot to the user.

**Keywords:** water balance, web site, real time.

\* Recibido: octubre de 2013  
Aceptado: febrero de 2014

**Palabras clave:** balance hídrico, sitio web, tiempo real.

## Introducción

El riego abastece a la planta el agua necesaria para su crecimiento y desarrollo. Cabe mencionar que es de vital importancia cuidar el recurso agua ya que se estima que la eficiencia en el uso del agua de riego, es aproximadamente de 38% en el mundo y en el año 2030 mejorará hasta llegar a un promedio de 42%, con ayuda de la tecnología y mejor administración del riego (UN, 2003). Es por esto que es necesario hacer más eficiente el manejo del recurso agua tanto para satisfacer las necesidades humanas como las de los cultivos. Palacios y Exebio (1989) señalan que el riego es tan importante, que en algunos distritos de riego del suroeste de los Estados Unidos de América, técnicos del gobierno federal y estatal asesoran a los usuarios y les indican cuando deben regar. En la actualidad se cuenta con varias herramientas, entre ellas, el uso de sistemas de riego, y la automatización.

Con éstas, se puede controlar el momento del riego de acuerdo a las necesidades de la plantas para mantenerlas con nivel de hidratación adecuado y con la menor cantidad de uso del recurso agua y así evitar una deficiencia hídrica que podría afectar la productividad de los cultivos (Calvache *et al.*, 1997). Para controlar el momento del riego se dispone de mediciones de elementos climáticos (temperatura, radiación solar, precipitación, entre otras) y factores edáficos (textura del suelo, humedad del suelo entre otras). Con ellos, el sistema puede conocer el momento ideal en el que se requiere aplicar el riego y en tiempo real ejecutarlo.

Algunos investigadores(as) como Allen (1998) han propuesto metodologías para automatizar el riego mediante funciones que modelan el comportamiento de la planta. Adicionalmente, entre las herramientas con las que se cuenta para encontrar mediciones de las variables para controlar momentos de riego, se tienen entre otras, estación meteorológica, la cual nos indica el estado del tiempo en todo momento ya que mide variables meteorológicas y las envía a cualquier dispositivo en el que se puede procesar la información (computadora); software de programación, con el cual podemos indicar a la computadora las operaciones necesarias para tomar decisiones; servicio de internet, al que se le pueden subir datos y hacer uso de ellos desde cualquier ubicación en donde se cuente con una computadora; celular, con esta herramienta podemos conectar a cada usuario e informarle lo que está ocurriendo en su parcela en tiempo real.

## Introduction

Irrigation supplies the water required for plant growth and development. It is noteworthy that it is vital to conserve water resources as it is estimated that the efficiency of irrigation water is approximately 38% worldwide in 2030 and improve to reach an average of 42%, with help of technology and better irrigation management (UN, 2003). This is why it is necessary to the management of water resources for both human needs such as more efficient crops. Palacios and Exebio (1989) indicate that irrigation is so important that in some irrigation districts of the southwestern United States, federal and state technical advice to government users and tell them when to irrigate. At present, it includes several tools, including the use of irrigation systems, and automation.

With these, you can control the timing of irrigation according to the needs of the plants to keep proper hydration level and with the least amount of use of water and avoid water deficiency that could affect crop productivity (Calvache *et al.*, 1997). To control the timing of irrigation are available measurements of climate elements (temperature, solar radiation, precipitation, etc.) and soil factors (soil texture, soil moisture, etc.). With them, the system can know the ideal time when irrigation is required to apply and execute real time.

Some researchers such as Allen (1998) have proposed methodologies to automate irrigation functions by modeling the behavior of the plant. Additionally, among the tools that account to find measurements of variables to control watering times, have for each other, weather station, which tells us the weather at all times and measuring weather variables and sends them to any device that can process information (computer) programming software, with which we can tell the computer to make decisions necessary operations; internet service, to which he can transfer data and make use of them from any location where the provision of a computer, cell phone, with this tool we can connect to each user and report what is happening in your parcel in real time.

It is worth mentioning that in some places have created networks of weather stations to support farmers to properly use its water resources. The Azmet (Arizona Meteorological Network) is one such, operate in southern and central Arizona and currently has 27 automated weather stations.

Cabe mencionar, que en algunos lugares se han creado redes de estaciones meteorológicas para apoyar a los agricultores a utilizar de manera adecuada sus recursos hidráulicos. El AZMET (Arizona Meteorological Network) es uno de estos, opera en el sur y centro de Arizona y cuenta actualmente con 27 estaciones meteorológicas automatizadas.

Por otra parte, también se han realizado estudios para optimizar el uso del agua. Bralts *et al.* (1986) elaboraron un programa de cómputo llamado SCS-Scheduler, el cual utilizaron para automatizar el riego con un Datalogger y controles de encendido y apagado de dispositivos. Wessels *et al.* (1995) elaboraron un sistema que controlara el riego por medio de una computadora, la cual almacenó datos meteorológicos, calculó la evapotranspiración y controló el nivel de salinidad en el agua. Al igual que los anteriores, Xin *et al.* (1995) realizaron un sistema para el manejo de riego en tiempo real enfocado a la protección contra heladas y control de fertilización en cítricos.

En otra investigación se desarrolló un programa de cómputo llamado AUTRI ver. 1.0, el cual tiene las opciones de determinar el riego por estimación de balance hídrico o mediante mediciones de electrotensiómetro para determinar el momento del riego (Moreno *et al.*, 1996). Cabe mencionar que Águila (2003), utilizó datos de suelo cultivo y elementos meteorológicos para determinar el riego en tiempo real mediante un sistema automatizado. Lugo *et al.* (2011) mostró un prototipo funcional, con base en la integración de tres tecnologías, computación, comunicaciones y electrónica para automatizar el control del riego para sistemas cerrados o abiertos.

Por lo anterior, se planteó esta investigación con el objetivo principal de conocer la cantidad de agua en tiempo real en cultivos que son regados por el método de gravedad y a cielo abierto. Se planteó la investigación debido a que el uso racional del agua de riego y de los fertilizantes es fundamental para mejorar el ingreso de los productores y proteger el ambiente (Rosano *et al.*, 2001). Cabe mencionar que en México se tiene una gran área de riego por gravedad. No obstante, se utiliza agua demás por lo regular.

Finalmente, con este trabajo se tiene como objetivo brindar información para indicar la cantidad y el momento del riego en tiempo real a cada parcela por medio del servicio de internet y dispositivos móviles y así hacer más eficiente el uso del agua y al mismo tiempo manteniendo en condiciones adecuadas la humedad del suelo para el mejor desarrollo de las plantas.

Moreover, there have also been studies to optimize the use of water. Bralts *et al.* (1986) developed a computer program called SCS-Scheduler, which used to automate irrigation with Datalogger controls and devices on and off. Wessels *et al.* (1995) developed an irrigation system that controlled by a computer, which stored weather data, calculated evapotranspiration and controlled the level of salinity in the water. Like the previous, Xin *et al.* (1995) conducted a system for handling real-time irrigation focused frost protection and control of fertilization in citrus.

In another study, a computer program was developed called AUTRI see. 1.0, which has the options to determine the irrigation water balance estimation or measurement of electro-tensiometer to determine when irrigation (Moreno *et al.*, 1996). It is noteworthy that Águila (2003) used data from soil cultivation and meteorological elements for determining irrigation in real time through an automated system. Lugo *et al.* (2011) showed a working prototype, based on the integration of three technologies, computing, communications and electronics for automated irrigation control for closed or open systems.

Therefore, this research arose with the main objective to know the amount of water in real time on crops that are irrigated by gravity method and open pit. They considered the investigation because the rational use of irrigation water and fertilizer is essential to improve the income of farmers and protect the environment (Rosano *et al.*, 2001). Note that in Mexico there is a large area of surface irrigation. However, other water is used usually.

Finally, this paper aims to provide information to indicate the amount and timing of irrigation in real time to each parcel service through the internet and mobile devices and thus make water use more efficient while maintaining conditions suitable soil moisture for better plant growth.

## Materials and methods

This research was conducted on a plot of Montecillo *Campus* Postgraduate College in Agricultural Sciences, Texcoco, State of Mexico, located in a northern latitude of 19° 27' west longitude 98° 54' and altitude of 2 240 meters.

For the development of the research project a mobile device (cell phone) brand model Nokia C3-00, an automatic weather station (EMA) brand Campbell SCI data for weatherization

## Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en una parcela del *Campus Montecillo* del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Texcoco, Estado de México, ubicada en una latitud norte de 19° 27', longitud oeste de 98° 54' y altitud de 2 240 msnm.

Para la elaboración del proyecto de investigación se requirió un dispositivo móvil (teléfono celular) marca Nokia modelo C3-00, una estación meteorológica automática (EMA) de marca Campbell SCI para obtener datos de elementos climáticos, tres sensores de humedad de suelo 10HS para medir contenido volumétrico de agua en el suelo (Decagon, 2008) y una computadora con el sistema operativo Windows 7 con procesador de 2.2 GHz y 2 GB de memoria RAM.

Los sensores de humedad de suelo 10 HS se instalaron en las profundidades 5-15 cm, 15-25 cm y 25 a 35 cm y los datos se almacenaron en el Data Logger CR1000 de la EMA. Es necesario indicar que se colocaron a esas profundidades debido a que se estimó el promedio de contenido volumétrico de agua en la capa de los primeros 40 cm de profundidad del suelo, para ello, se tomaron mediciones cada 10 min de cada sensor y se estimó el promedio a nivel horario. Posteriormente se realizó la estimación diaria del contenido volumétrico de agua en el suelo con los promedios horarios.

La EMA utilizada funciona por medio de un Datalogger CR1000, el cual es un dispositivo electrónico que procesa y guarda los datos resultantes de la medición de los sensores de los elementos climáticos (Campbell, 2000) y se conecta a la red de internet del Colegio de Postgraduados mediante el conector de red NL115 el cual tiene el papel de funcionar como interfaz de comunicación entre la estación meteorológica y la computadora (Campbell, 2006). La EMA está ubicada a 10 m de la parcela de estudio.

En la computadora se instalaron los programas de cómputo: MySQL Server el cual es un gestor de bases de datos para almacenar información (Korhonen *et al.*, 2008); MySQL Conector Net 6.3.5 que es un conector del programa Microsoft Visual Studio 2010 con MySQL Server (Kofler, 2005); Microsoft Visual Studio 2010 que es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones Web ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles (Randolph *et al.*, 2010); LoggerNet 3.4.1 el cual es un software que sirve para comunicar a la computadora con el Data Logger CR1000 (Campbell, 2007).

three soil moisture sensors are required to measure 10HS volumetric water content in the soil (Decagon, 2008) and a computer with the Windows 7 operating system with 2.2 GHz processor and 2 GB of RAM.

The soil moisture sensors were installed in 10 HS 5-15 cm deep, 15-25 cm and 25-35 cm and the data stored in the Data Logger CR1000 EMA. We must stress that were placed at these depths because the average volumetric water content in the layer of the first 40 cm of soil depth, for it was estimated, measurements were taken every 10 min of each sensor and the estimated Average hourly. Subsequently the daily estimation of volumetric water content in the soil with time averages performed.

The EMA works used by a CR1000 Datalogger, which is an electronic device that processes and stores the data resulting from the measurement of the sensors from the elements (Campbell, 2000) and is connected to the Internet network of the College of Graduates by NL115 network connector which has the role to function as communication interface between the computer and weather station (Campbell, 2006). The EMA is located 10 m from the study plot.

In computer programs were installed: MySQL Server which is a database manager to store information (Korhonen *et al.*, 2008), MySQL Connector Net 6.3.5 which is a connector program with Microsoft Visual Studio 2010 MySQL Server (Kofler, 2005) Microsoft Visual Studio 2010 is a complete set of development tools for the generation of ASP.NET Web applications, XML Web services, desktop applications and mobile applications (Randolph *et al.*, 2010.) LoggerNet 3.4.1 which is a software used to communicate to the computer with the Data Logger CR1000 (Campbell, 2007) of any automatic weather station (EMA) Tera Term 4.71, which was used to test communication between computer and mobile devices.

Once the required software installed on the computer, a database called MySQL Server MYDB the program (Figure 1) was created. The entity relationship model includes data tables: soil, which includes variable amount of clay soil (%), amount of silt (%), amount of sand (%), organic matter content (%) and bulk density soil ( $\text{g} / \text{cm}^3$ ); culture, which includes details like name of crop, crop duration in days (from planting to harvest), depending on the crop coefficient, depending on the depth of the root and function of the allowable leeway in soil moisture; user data indicating username, email address, cell phone number, personal

de cualquier estación meteorológica automática (EMA); Tera Term 4.71, el cual se utilizó para realizar pruebas de comunicación entre computadora y dispositivos móviles.

Una vez instalado el software necesario en la computadora, se creó una base de datos llamada MYDB en el programa MySQL Server (Figura 1). El modelo entidad relación incluye las tablas de datos: Suelo, la cual incluye las variables de suelo cantidad de arcilla (%), cantidad de limo (%), cantidad de arena (%), contenido de materia orgánica (%) y densidad aparente de suelo ( $\text{g/cm}^3$ ); cultivo, que incluye datos como nombre de cultivo, duración del cultivo en días (desde siembra a cosecha), función del coeficiente de cultivo, función de la profundidad de la raíz y función del abatimiento permisible en la humedad del suelo; Usuario, que indica datos de nombre de usuario, dirección de correo electrónico, número de celular, nombre de identificación personal, contraseña; Parcela, la cual indica nombre de la parcela, coordenadas que delimitan a la parcela, día juliano de plantación, pago de servicio y verificador que indica si parcela está dada de alta; estación, la cual contiene datos de latitud, longitud y altitud; elementos climáticos horarios, en donde se almacenan los datos de evapotranspiración de referencia ( $\text{ET}_0$ , mm), velocidad del viento (m/s), precipitación (mm), radiación ( $\text{W/m}^2$ ), temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ), y humedad relativa (%).

identification name, password, Plot, which indicates the name of the plot coordinates that define the plot, Julian day planting and verifier utility bill indicating whether plot is discharged; station, which contains data latitude, longitude and altitude, climatic elements schedules, where data of reference evapotranspiration ( $\text{ET}_0$  mm) are stored , wind speed (m/s), precipitation (mm), radiation ( $\text{W/m}^2$ ), mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and relative humidity (%).

Subsequently created in Visual Studio 2010 a website to enter and extract information from the data base MYDB. The website was developed in order to create an interface with which the user can see the status of your parcel in real time and the administrator may interact with the plots you want to do the Google Maps™ program was used, this because the services Google Maps™ cartographic limitations can be overcome by accessing through internet, cartography and the structures of highways / roads as well as important real data related to roads and traffic restrictions (Santos *et al.*, 2011). We obtained the right tools for the proper functioning of the windows on the Google Maps website also created the necessary functions for plots coordinates stored in the database in MySQL. The website consists of four pages, which serve different functions and used to feed the data tables in MySQL. Pages are described below.

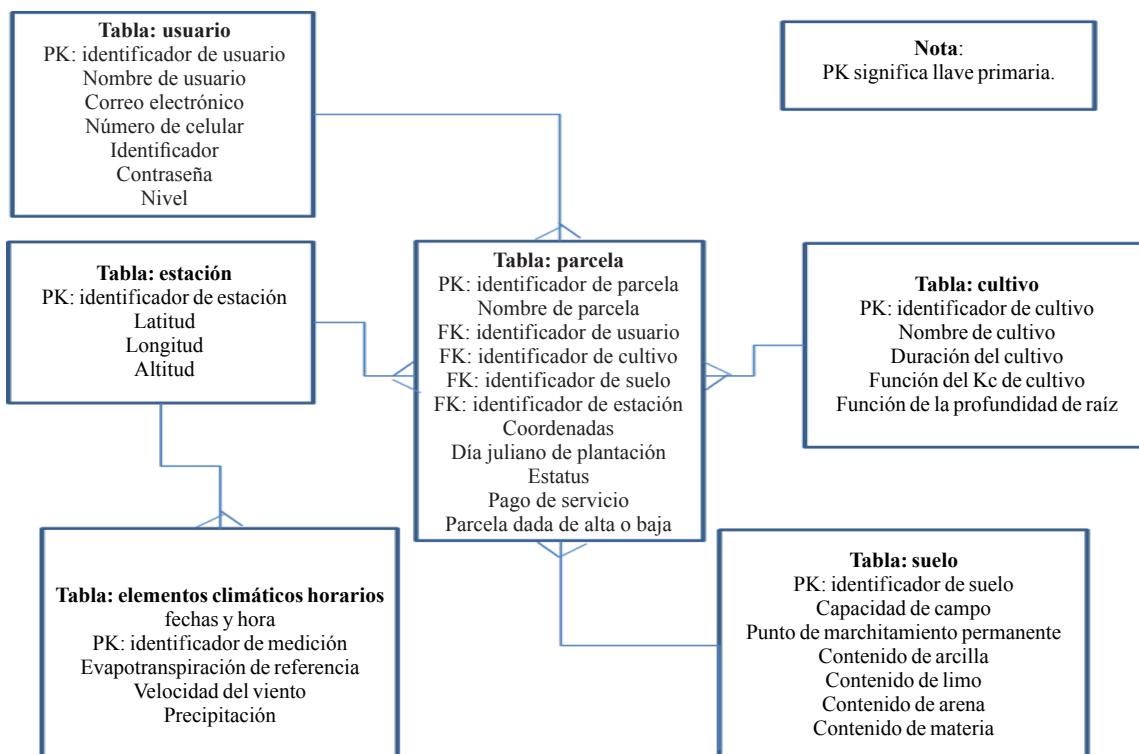


Figura 1. Modelo entidad relación de la base de datos MYDB.

Figure 1. Entity model based on MYDB data.

Posteriormente se creó en Visual Studio 2010 un sitio web para ingresar y extraer a la información de la base de datos MYDB. El sitio web se elaboró con el fin de crear una interfase con la cual el usuario pueda ver el estado de su parcela en tiempo real y el administrador pudiera interactuar con las parcelas que deseé, para ello se utilizó el programa Google Maps™, esto, debido a que los servicios de Google Maps™ pueden superar limitaciones cartográficas mediante el acceso a través de internet, a la cartografía y a las estructuras de la red de carreteras/calles así como a importantes datos reales relacionados con carreteras y restricciones de tráfico (Santos *et al.*, 2011). Se obtuvieron las herramientas precisas para obtener el funcionamiento adecuado de las ventanas de Google Maps en el sitio web creado además de las funciones necesarias para obtener coordenadas de parcelas para almacenarlas en la base de datos en MySQL. El sitio web está compuesto por cuatro páginas, las cuales cumplen diferentes funciones y se utilizaron para alimentar a las tablas de datos en MySQL. Las páginas se describen a continuación.

Página de acceso. Se creó una página para que los usuarios tuvieran acceso al sistema mediante el uso de un identificador de usuario y una contraseña. Desde esta se puede tener acceso a la página de registro mediante un enlace (Figura 2).

**Figura 2. Acceso al sistema.**

**Figure 2. Access to the system.**

**Página de registro:** se elaboró para que los usuarios que tuvieran una parcela en el área, se dieran de alta, mediante la introducción de los datos mostrados en la (Figura 3).

Página de usuario nivel uno (administrador): se creó para que el administrador del sistema tuviera la capacidad de editar, crear o eliminar parcelas (Figura 4).

Seleccionar Parcela: <input type="text"/> Ir...												
Clave Parcela	Nombre Parcela	ID Usuario	ID Cultivo	ID Suelo	ID Estación	Coordenadas	Día Juliano de plantación	Estatus	Servicio Pagado	Estado de Alta (S/N)	Modify	Delete
1	1A	3	57	2	1	[new GLatLng(19.46811714155979,-98.89605581760406),new GLatLng(-19.46784655388506,-98.89504194259643),new GLatLng(-19.467075248165038,-98.895323574543),new GLatLng(-19.467350895370035,-98.89629989862442),new GLatLng(-19.46811714155979,-98.89605581760406)]	173	A	S	S	Edit	Delete

**Figura 4. Datos que puede editar el usuario nivel uno.**

**Figure 4. Data edited by the user level one.**

Access page. A page for users to have access to the system using a user ID and password is created. From this you can access the registration page by a link (Figure 2).

**Login page:** prepared for users who have a plot in the area, was discharged by the introduction of the data shown in (Figure 3).

DATOS DE USUARIO

Nombre:

Mail:

Número Celular:

NIP:

Contraseña:

DATOS DE LA PARCELA Y CULTIVO

Parcela a dar de alta	Cultivo	Día de plantación
8	Brécol (Brócoli)	<input type="text"/>

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Densidad Aparente (g/cm³)	Materia Orgánica (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

DATOS DEL ULTIMO RIEGO

Día de riego	Lámina aplicada (cm)	Hora de aplicación(entre 0 y 24)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Avisar via celular necesidad de riego.

NOTA: Todos los campos son obligatorios para realizar el proceso de alta con éxito!!! ..

Aceptar

**Figura 3. Datos requeridos para registro de parcela de un usuario de nivel dos.**

**Figure 3. Data requirements for registration of a user plot of level two.**

Page level one user (administrator) is created for the system administrator has the ability to edit, create or delete plots (Figure 4).

User page level two (manager of the plot) was created so that the user can view the data on your current water balance plot and the option to enlist other plots (Figure 5) was placed. This section is necessary to mention that the irrigation control system is open because the user is the one who makes the decision to run the irrigation (Zazueta, 1993).

Página de usuario nivel dos (encargado de la parcela): se creó para que el usuario pueda consultar los datos de balance hídrico actual en su parcela y se colocó la opción de dar de alta otras parcelas (Figura 5). En este apartado es necesario mencionar que el sistema de control del riego es abierto debido a que el usuario es el que toma la decisión de ejecutar el riego (Zazueta, 1993).

Después de lo anterior se elaboró una aplicación que computa el balance hídrico climático (BHC) a nivel parcela y a nivel horario. Las funciones que se realizan se muestran en la Figura 6. Para calcular el balance hídrico se utilizó la metodología propuesta por Castro *et al.* (2008); sin embargo, la evapotranspiración del cultivo ( $ET_C$ ) fue estimada con el método de Penman-Monteith a nivel horario (Allen, 2006) debido a que autores(as) como Hatfield (1990) aseguran que los sistemas de medición de evapotranspiración proporcionan datos de mayor precisión en intervalos cortos de tiempo.

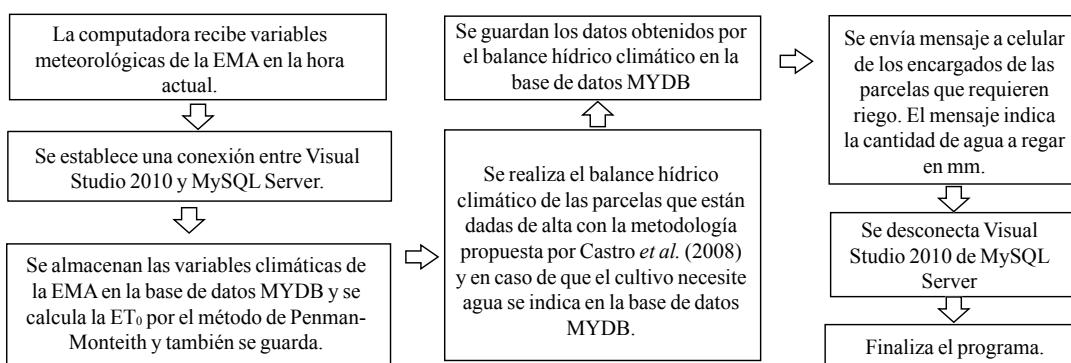
After the above application computing the climatic water balance (BHC) at plot level and was drawn hourly. The functions performed are shown in Figure 6. To calculate the water balance methodology proposed by Castro et al was used (2008). However, crop evapotranspiration ( $ET_C$ ) was estimated with the Penman-Monteith hourly level (Allen, 2006) because author(s) and Hatfield (1990) claim that the evapotranspiration measurement systems provide data that are more accurate in short time intervals.

It is noteworthy that the CR1000 Datalogger can calculate the reference evapotranspiration equation by standardized reference evapotranspiration of the American Society of Civil Engineers (Allen *et al.*, 2005); however, this last fact was not used. According to Allen (2006), the daily water balance in the root zone, expressed in terms of exhaustion at the end of the day is:



**Figura 5. Página de acceso a un usuario nivel dos.**

**Figure 5. Page a user access level two.**



**Figura 6. Funciones realizadas para calcular el balance hídrico a nivel horario.**

**Figure 6. Functions performed to calculate the hourly water balance.**

Cabe mencionar que el DataLogger CR1000 puede calcular la evapotranspiración de referencia mediante la ecuación estandarizada de la evapotranspiración de referencia de la American Society of Civil Engineers (Allen *et al.*, 2005); no obstante, este último dato no se utilizó. De acuerdo con Allen (2006), el balance diario del agua en la zona radicular del suelo, expresado en términos de agotamiento al final del día, es:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i$$

Dónde:  $D_{r,i}$  agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día  $i$  [mm];  $D_{r,i-1}$  agotamiento de humedad en la zona radicular al final del día anterior,  $i-1$  [mm];  $P_i$  precipitación en el día  $i$  [mm];  $RO_i$  escurrimiento superficial en el día  $i$  [mm];  $I_i$  lámina neta de riego en el día  $i$  que infiltra en el suelo [mm];  $CR_i$  ascenso capilar proveniente de la mesa de agua subterránea en el día  $i$  [mm];  $ET_{c,i}$  evapotranspiración del cultivo en el día  $i$  [mm];  $DP_i$  pérdidas de agua de la zona radicular por percolación profunda en el día  $i$  [mm].

Sin embargo, el programa que calcula el BHC a nivel horario tomó la misma ecuación, pero en lugar de utilizar un intervalo de tiempo por día, lo hizo por hora.

En cuanto a la actividad siguiente se elaboró un proyecto en Visual Studio 2010 para enviar mensajes de texto a usuarios que estén dados de alta en el sistema. La interface se creó por medio del envío de comandos AT al dispositivo celular. Cabe mencionar que el control del teléfono móvil se llevó a cabo mediante el conjunto de comandos AT especificados en la normativa GSM, no obstante, los comandos pueden variar dependiendo del fabricante del terminal (Sallent, 2003).

La función principal de envío de mensajes verifica si el usuario o encargado de la parcela desea que se le avise vía celular, a continuación se verifica si ya se ha abatido la humedad fácilmente aprovechable en la parcela y si esto ocurrió, se verifica si ya se ha enviado un mensaje de necesidad de riego, en caso de no haberlo enviado, se crea un texto que contiene la humedad fácilmente aprovechable (mm) y la lámina consumida (mm) en la parcela, para que el usuario conozca la cantidad de agua que debe aplicar y decida cuando aplicar el riego.

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i$$

Where:  $D_{r,i}$  depletion of moisture in the root zone at the end of the day  $i$  [mm],  $D_{r,i-1}$  depletion of moisture in the root zone at the end of the previous day,  $i-1$  [mm];  $P_i$  precipitation on day  $i$  [mm],  $RO_i$  surface runoff on day  $i$  [mm],  $I_i$  net irrigation on day  $i$  that infiltrates the soil [mm];  $CR_i$  capillary rise from the table groundwater on day  $i$  [mm],  $ET_{c,i}$  crop evapotranspiration on day  $i$  [mm],  $DP_i$  water loss from the root zone by deep percolation on day  $i$  [mm].

However, the program calculates the hourly BHC took the same equation, but instead of using a time interval by day, who did an hour.

As for the next project activity was developed in Visual Studio 2010 to send text messages to users who are discharged from the system. The interface was created by sending AT commands to the cellular device. It is noteworthy that the control of the mobile phone held by AT command set specified in the GSM standard, however, commands can vary depending on the manufacturer of the terminal (Sallent, 2003).

The main function of messaging verifies if the user or operator of the plot you want to be notified via cell phone, then check if you have already beaten the readily available moisture in the plot and if this happened, it checks whether it has sent a message of need for irrigation, should not have sent him a text that contains the readily available moisture (mm) and consumed sheet (mm) in the plot is created for the user to know the amount of water decide to apply and when to apply irrigation.

## Results and discussion

The system was tested for 24 days from June 23 at 0:00 AM July 17, 2013 at 0:00 h, collecting data on the hourly wind speed at 2 m height, precipitation (mm), radiation ( $W/m^2$ ), mean temperature ( $^{\circ}C$ ), relative humidity (%), reference evapotranspiration (mm) and the average volumetric water content in the soil in the first forty centimeters deep ( $m^3/m^3$ ). The meteorological variables were stored in the data base MYDB.

## Resultados y discusión

El sistema se puso a prueba durante 24 días del 23 de junio a las 0:00 h y 17 de julio de 2013 a las 0:00 h, recolectando los datos a nivel horario de velocidad del viento a 2 m de altura, precipitación (mm), radiación ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa (%), evapotranspiración de referencia (mm) y el promedio de contenido volumétrico de agua en el suelo en los primeros cuarenta centímetros de profundidad ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ). Las variables meteorológicas se almacenaron en la base de datos MYDB.

El cultivo de la parcela fue alfalfa (con cuatro años de establecimiento, por lo que no se cubría totalmente la superficie del suelo) con una vida de 13 días después del último corte. Se muestreo el suelo para a definir la profundidad con mayor densidad radicular que fue hasta los 40 cm de profundidad, por ello el BHC se realizó únicamente en esa profundidad así mismo el monitoreo de la humedad. De previos análisis de suelos realizados en la parcela se conoce que el promedio de contenido de arena es de 61%, de limo 17%, de arcilla 22%, de materia orgánica 1% y la densidad aparente de  $1.31 \text{ g/cm}^3$  en los 40 cm de profundidad, además la capacidad de campo (CC) es  $0.2507 \text{ m}^3/\text{m}^3$  y el punto de marchitez permanente (PMP) es  $0.1462 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Para iniciar el balance se consideró que el contenido volumétrico de agua en el suelo (WVC) medido con los sensores 10HS a las 23:00 h del 22 de junio de 2013 fue de  $0.221 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ; debido a esto, al primer BHC (calculado en la hora 00:00 del 23 de junio de 2013) se le asignó la misma cantidad de WVC señalada por el sensor de la hora anterior.

No obstante, es imprescindible mencionar que el BHC se calculó en milímetros, por lo que fue necesario convertir los  $0.221 \text{ m}^3/\text{m}^3$  a milímetros. Para ello, se sabe que el contenido de agua a CC es de 100.28mm y el contenido inicial indicado por el sensor de humedad en milímetros fue de 88.4 mm, dentro los 40 cm de profundidad en el suelo. Por lo que el agotamiento de humedad en la zona radicular al final de la hora fue de 11.9 mm (100.28 mm - 88.4 mm). Posteriormente, ya con las condiciones iniciales definidas se inició la estimación del BHC para todas las horas comprendidas en el periodo estudiado.

Es importante añadir que el BHC estimado obtuvo el agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final de cada hora en milímetros y los sensores de humedad en  $\text{m}^3/\text{m}^3$ , por lo que fue necesario convertir el agotamiento de milímetros a  $\text{m}^3/\text{m}^3$ . Para hacer esto, a los 100.28mm de

The crop was alfalfa plot (with four years of listing, so no soil surface is completely covered) with a lifetime of 13 days after the last cut. The soil sampling to define the depth greater root density was up to 40 cm deep, so the BHC moisture monitoring was performed only at that depth likewise. In previous analyzes of flooring made from the plot is known that the average content is 61% sand, 17% silt, 22% clay, organic matter 1% and the bulk density of  $1.31 \text{ g/cm}^3$  in the 40 cm deep, well field capacity(CC) is  $0.2507 \text{ m}^3/\text{m}^3$  and the permanent wilting point (PMP) is  $0.1462 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . To start the balance was considered that the volumetric water content in the soil (WVC) measured with sensors 10HS at 23:00 pm on June 22, 2013 was  $0.221 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , because of this, the first BHC (calculated at time 00:00 of June 23, 2013) was given the same amount of WVC indicated by the sensor from the previous hour.

However, it is essential to mention that the BHC was calculated in millimeters, so it was necessary to convert the  $0.221 \text{ m}^3/\text{m}^3$  millimeters. For this, it is known that the water content is 100.28mm CC and the initial content indicated by the humidity sensor was 88.4 mm within 40 cm deep in the soil. As moisture depletion in the root zone at the end of the hour was 11.9 mm (100.28mm-88.4mm). Later, with the defined initial conditions estimation BHC was started for all the hours in the period.

It is important to add that the estimated BHC scored depletion of moisture in the root zone at the end of each hour in millimeters and humidity sensors in  $\text{m}^3/\text{m}^3$ , so it was necessary to convert millimeters depletion  $\text{m}^3/\text{m}^3$ . To do this, the field capacity 100.28mm they subtracted the time exhaustion and the result was divided by 400 mm (soil depth). With the above operations, the BHC was obtained  $\text{m}^3/\text{m}^3$  was achieved compared to the WVC indicated by 10HS sensors.

Before comparing the data, indicate that the soil WVC registered 10HS sensors was reviewed and if the measurement exceeded the DC humidity, WVC was set to the equivalent moisture content to CC. Subsequently the sensor measurements of the soil moisture were weighted by the depth of influence of the sensor volume. To accomplish this, a measurement of WVC indicated by the sensor located between 0 and 15 cm, is multiplied by 15, to the measurement indicated by the sensor located 15 to 25 cm will be multiplied by 10 and measure indicated sensor located between 25 and 35 cm will be multiplied by 10, the results are summed and the total is divided by 35.

To display information from WVC and BHC indicated a daily basis for them in the BHC closes and starts at 00:00 h each day, the same way for reading the sensors (Figure 7).

capacidad de campo se les restó el agotamiento horario y el resultado se dividió por 400 mm (profundidad del suelo). Con las operaciones anteriores se obtuvo el BHC en  $\text{m}^3/\text{m}^3$  y se logró comparar con el WVC indicado por los sensores 10HS.

Antes de realizar la comparación entre los datos, se debe indicar que el WVC del suelo registrado por los sensores 10HS fue revisado y si la medición superaba a la humedad CC, el WVC se fijaba a lo equivalente al contenido de humedad a CC. Posteriormente las mediciones de los sensores de la humedad en el suelo se ponderaron por la profundidad del volumen de influencia del sensor. Para realizar esto, a la medición de WVC indicada por el sensor ubicado entre 0 y 15 cm, se le multiplicó por 15, a la medición indicada por el sensor ubicado de 15 a 25 cm se le multiplicó por 10 y a la medición indicada por el sensor ubicado entre 25 y 35 cm se le multiplicó por 10, los resultados se sumaron y el total se dividió por 35.

Para mostrar la información obtenida de WVC y BHC se indica a nivel diario, para ellos en el BHC se cierra e inicia a las 00:00 h de cada día; de igual manera para la lectura de los sensores (Figura 7).

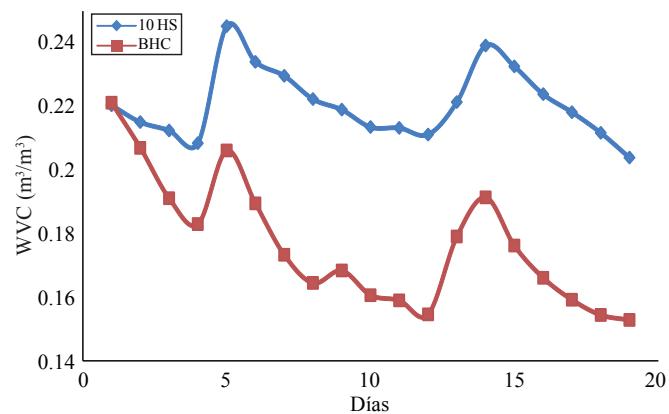
En la Figura 7 se puede observar que el WVC estimado con el BHC tiene un comportamiento similar al medido con los sensores 10HS; sin embargo, el WVC estimado con el BHC indica que la humedad del suelo disminuye en mayor medida en los primeros cuatro días, por lo que al realizar una regresión lineal entre ambos, podría producirse un gran error. Por lo anterior, se planteó realizar el análisis de regresión únicamente para el periodo comprendido entre las fechas 27 de junio de 2013 y el 11 de julio de 2013 y se le estimó la correlación y un modelo de regresión lineal de la forma  $y = a + b \cdot x$ , en donde "x" es el WVC medido por los sensores 10HS, "a" y "b" constantes y "y" es el WVC estimado por el BHC (Figura 8).

Para verificar si existe relación lineal entre el WVC medido con los sensores de humedad 10HS y el WVC estimado con el BHC, se realizó el análisis de varianza de la significación de la regresión (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Estadísticas de la regresión entre el WVC medido con los sensores 10HS y el WVC estimado con el BHC.**  
**Table 1. Regression statistics between the WVC 10HS sensors measured and estimated WVC with BHC.**

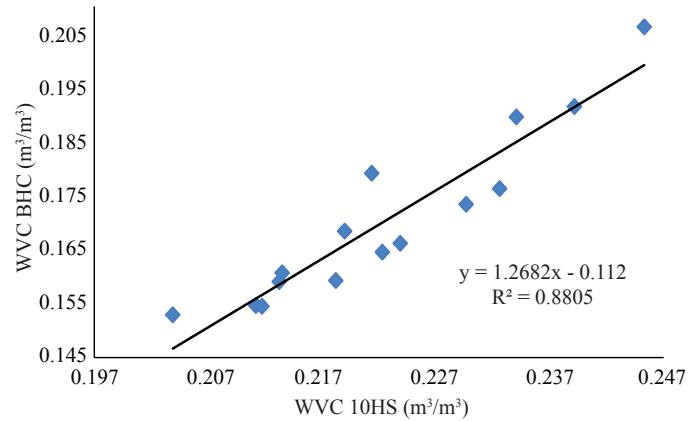
$R^2$	$F_0$	$t_0$ de a	$t_0$ de b	$\sqrt{MS_E}$	g. l. regresión	g. l. residuos
0.8713	95.7446	-3.8756	9.7849	0.0056	1	13

The Figure 7 shows that the estimated BHC WVC has a similar 10HS sensors measured behavior, however, estimated the BHC WVC indicates that soil moisture decreases more in the first four days, so by performing a linear regression between the two, there could be a big mistake. Therefore, it was decided to perform the regression analysis only for the period between the dates of June 27, 2013 and July 11, 2013 and is estimated correlation and linear regression model of the form  $y = a + b \cdot x$ , where "x" is measured by the sensors WVC 10HS, "a" and "b" constant, "and" is estimated by the BHC WVC (Figure 8).



**Figura 7. Contenido volumétrico de agua en el suelo medido a las 00:00 h del 27 junio 2013-11 julio 2013.**

**Figure 7. Volumetric water content in the soil measured at 00:00 h from 27 June 2013-11 July 2013.**



**Figura 8. Regresión del contenido volumétrico de agua en el suelo.**  
**Figure 8. Regression of volumetric water content in the soil.**

Del Cuadro 1 se verifica que  $F_0$  equivale a 95.7446 y  $F_{0.05,1,13}$  equivale a 4.67. Por lo tanto, dado que  $F_0$  es mayor que  $F_{0.05,1,13}$ , se confirma que si existe una relación de tipo lineal entre los datos mencionados. Después de lo anterior se verificaron los coeficientes de la ecuación de regresión y se encontró que el coeficiente "a" es estadísticamente diferente de cero debido a que su valor  $|t_0| > t_{0.025,13}$ , ya que  $t_{0.025,13}$  equivale a 2.16. Adicionalmente el coeficiente "b" es diferente de cero debido a que su valor  $|t_0| > t_{0.025,13}$ , por lo tanto se puede inferir que el WVC medido con los sensores de humedad 10HS es 1.27 veces mayor que el WVC estimado con el BHC.

## Conclusiones

Se concluye que es posible integrar un sistema de servicio de riego mediante dispositivos móviles al conjuntar las tecnologías de información y comunicación (TIC). Donde se integra la información meteorológica (de la estación Campbell), de las unidades (cultivo-suelo-productor) y el balance hídrico, todo en línea, que contribuye a la toma de decisiones oportunas con el fin de solicitar el riego. En este sistema aún se usan los desarrollos del fabricante para la comunicación entre el servidor y la EMA, por lo que necesario mejorar este punto. Con la posibilidad de incluir una Red de EMA's para cubrir superficies, e implementar el manejo y control de calidad de la información, incluir métodos de interpolación, entre otros servicios. Otro punto a considerar es contar con un programa de calibración y mantenimiento de sensores con el fin de contar con información confiable.

## Literatura citada

- Águila, M. F. 2003. Entwicklung eines vollautomatischen Bewässerungsregelung systems für den Freilandgemüsebau. Verlag Grauer, Beuren - Stuttgart, Alemania. ISBN: 3-86186-434-7. 143 p.
- Allen,R.G.;Pereira,L.S.andRaes,D.1998.Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization(FAO). Irrigation and Drainage, Paper No. 56. 321 p.
- Allen, R. G. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Food and Agriculture Organization (FAO). Vol. 56.
- Allen, R. G.; Walter, I. A.; Elliot, R. L.; Howell, T. A.; Itenfisu, D.; Jensen, M. E. and Snyder, R. L. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Am. Soc. Civil Engin. USA. 56 p.
- Bralts, V. F.; Driscoll, M. A. and Kelly, S. F. 1986. Microcomputer based irrigation management and control system. ASAE, Paper No.86-1223. St. Joseph, MI. USA.

To check for WVC linear relationship between measured moisture sensors 10HS and WVC estimated the BHC, the variance analysis of the significance of the regression (Table 1) was performed.

From Table 1, it is verified that  $F_0$  and  $F$  equals 95.7446 and  $F_{0.05,1,13}$  equals 4.67. Therefore, given that  $F_0$  is greater than  $F_{0.05,1,13}$ , it is confirmed whether there is a linear relationship between these data. After the coefficients above the regression equation was verified and found that the coefficient "a" is significantly different from zero because the value  $|t_0| > t_{0.025,13}$ , since  $t_{0.025,13}$  equivalent to 2.16. Additionally, the coefficient "b" is different from zero because its value  $|t_0| > t_{0.025,13}$ , therefore it can be inferred that the WVC measured moisture sensors 10HS is 1.27 times the estimated WVC BHC.

## Conclusions

It concludes that it is possible to integrate a system of irrigation services through mobile devices to combine the information and communication technologies (ICT). Where weather information (from Campbell station) units (soil-crop-producer) and water balance, all online, which contributes to making timely decisions in order to apply integrated irrigation. In this system manufacturer, development for communication between the server and the EMA is still used, for what we need to improve this point. With the ability to include, a network of EMA's to cover surfaces, and implement management and quality control of information, include interpolation methods, among other services. Another point to consider is to have a program of calibration and maintenance of sensors in order to have reliable information.

*End of the English version*

- 
- Calvache, M.; Reichard, K. y Bacchi, O. 1997. Efecto de épocas de deficiencia hídrica en evapotranspiración actual del cultivo. Congreso Brasileiro de agrometeorología. 668-670 p.
- Campbell Scientific, Inc. 2000. CR1000 measurement and control system operator's manual. Electronic Version. Logan, Utah. USA. 44-70 p.
- Campbell Scientific, Inc. 2006. NL115 Ethernet and CompactFlash Module Instruction Manual. Electronic Version. Logan, Utah. USA. 1-5 p.
- Campbell Scientific, Inc. 2007. LoggerNet User's Manual. Version 3.4.1. Electronic Version. Logan, Utah. USA. 7-1:7-68.

- Castro, P. M; Águila, M. F. M.; Quevedo, N. A.; Kleisinger, S.; Tijerina, C. L. y Mejía, S. E. 2008. Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agric. Téc. Méx.* 34:459-470.
- Decagon Devices Inc. 2008. 10HS soil moisture sensor operator's manual. Versión 1.0. Electronic Versión. Pullman, WA. USA. 1-14 p.
- Hatfield, J. L. 1990. Methods of estimating evapotranspiration. *Irrigation of agricultural crops*. ASA. Monograph 30:436-467.
- Kofler, M. 2005. The definitive guide to MySQL 5. Kramer, D. 3<sup>rd</sup> edition. APRESS. New York, NY, USA. 172 p.
- Lugo- Espinosa, O.; Quevedo- Nolasco, A.; Bauer- Mengelberg, J. R.; Valle- Paniagua, D. H. D.; Palacios- Vélez, E. y Águila- Marín, M. 2011. Prototipo para automatizar un sistema de riego multicultivo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(5):659-672.
- Moreno, A. S. L.; Tijerina, Ch. R.; Acosta, H. V. M.; Ruiz, C. F. S.; Zazueta, R. y Crespo, P. G. 1996. Automatización de un sistema de riego localizado, aplicado a una plantación de durazno. *Agrociencia*, 33(2):191-197.
- Palacios, V. E. y Exebio, G. A. 1989. Introducción a la teoría de la operación de Distritos de Riego. Segunda Reimpresión Corregida. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Texcoco, Estado de México. 4 p.
- Rosano, M. L.; Rendón, P. L.; Pacheco, H. P.; Etchevers, B. J. D.; Chávez, M. J. y Vaquera, H. H. 2001. Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad. *Agrociencia* 35:577-588.
- Sallent, R. O. y Valenzuela, G. J. L. 2003. Principios de comunicaciones móviles. Primera Edición. Ediciones UPC. Barcelona, España. 23 p.
- Santos, L.; Coutinho-Rodrígues, J. and Antunes, C. H. 2011. A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. *Decision Support Systems* 51(1):1-9.
- United Nations(UN). 2003. Waterforpeople, waterforlife. Executive summary of the UN world water development report. Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris. France. 18 p.
- Wessels, W. P. J.; Steyn, W. H. and Moolman, J. H. 1995. Automatic microirrigation and salt injection system for research and commercial applications. Proceeding of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando Fl., USA. ASAE. 116-122 p.
- Xin, J. N.; Zazueta, F. S.; Smajstrla, A. G. and Wheaton, T. A. 1995. Real time expert system for citrus microirrigation management. Proceeding of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando Fl., USA. ASAE. 787-791 p.
- Zazueta, F. S. 1993. Irrigation system controllers. SS-AGE-32 Agric. Eng., Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Gainesville, FL, USA. 14 p.