

## Estación de monitoreo en tiempo-real de parámetros agrometeorológicos para determinar la necesidad de riego en plantaciones agrícolas

Alberto Eduardo Riba<sup>1</sup>, Emmanuel Alejandro Portugal Murcia<sup>1</sup>, Fernanda Beatriz Carmona<sup>1</sup>, Jorge Damián Tejada<sup>1</sup>, Matías Agustín Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Chilecito  
9 de Julio 22, Chilecito, La Rioja, Argentina  
{ariba, jtejada, fbcarmona}@undec.edu.ar  
{emmanuel.portugal.91, mataguper20}@gmail.com

**Abstract.** La automatización y control de los sistemas de riego han evolucionado notablemente existiendo diferentes tecnologías que permiten calcular en tiempo real el contenido de agua en el suelo, parámetros climáticos y el estatus hídrico de la planta. Este trabajo implementa un prototipo que integra tecnologías Open Hardware para la captura y transmisión de los datos y un software que permite integrar los índices sensados por varias estaciones para visualizar, generar alertas y estimaciones relacionadas con el riego utilizando interfaces gráficas que contribuyan al proceso de toma de decisiones.

**Keywords:** Open Hardware, IoT, Data Driven Agriculture, sensores, monitoreo.

### 1 Introducción

La tecnología es la impulsora de lo que hoy se denomina agricultura de precisión [1]. La generalización del uso de los sistemas de posicionamiento globales y los avances en las herramientas Open Hardware para el procesamiento y sensado de datos, permiten mejorar la productividad agrícola [2]. Data-driven agriculture no solo implica la digitalización y almacenamiento de información sino también desplegar políticas de gestión de los datos enfocadas a su análisis, explotación y protección [3].

En las regiones áridas y semiáridas, como el noroeste argentino, la escasez y competencia del recurso hídrico causa problemas de abastecimiento e incrementos en los costos de extracción, especialmente en el sector agrícola, por lo que es de vital importancia la racionalización y uso eficiente del mismo para incrementar la productividad [4].

Actualmente los sectores de la región capturan la información relacionadas con las variables necesarias para el pronóstico y planificación del riego en el cultivo de olivo, de manera aislada e independiente por cada tipo de sensor, utilizando para el análisis e interpretación de datos la interface de software suministrada por el fabricante del dispositivo. No existe una solución que sea escalable e integre toda esta información. De esta manera, los encargados de tomar la decisión de cuánto y cuándo regar

necesitan utilizar herramientas adicionales para poder procesar y relacionar esta información.

En este artículo se presenta un prototipo de estación de monitoreo en tiempo-real que integra los índices de varios sensores (temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, luminosidad, humedad de suelo a tres niveles, velocidad y dirección del viento, precipitaciones) montados sobre un microcontrolador Arduino Mega. El prototipo incluye un módulo de comunicaciones que se implementa con un shield Ethernet conectado a una antena Wifi pero también se podría implementar sobre un shield 3G – GPRS dependiendo de la disponibilidad de señal; la transmisión de datos se basa en una arquitectura cliente servidor entre una o varias estaciones y un servidor de aplicaciones, que inserta e integra los registros en una base de datos para la generación de informes estadísticos, alertas y estimaciones relacionadas con el riego, utilizando interfaces gráficas que contribuyan al proceso de toma de decisiones. En caso de falla en la conectividad la estación posee una memoria micro SD, que almacena los datos localmente permitiendo su posterior sincronización.

## 2 Metodología

Entre las metodologías empleadas en el presente trabajo podemos mencionar:

- Metodología de la investigación: se empleó el proceso de la investigación científica de Tamayo y Tamayo [5] como marco metodológico de referencia.
- Metodología del área aplicada: para el desarrollo del sistema se empleó la Metodología de la Red Nacional de Integración y Desarrollo De Software Libre [6]. Desarrollada en el Centro Nacional de Tecnologías de Información en Venezuela, en el año 2007.
- Metodología agronómica: Para el cálculo del riego y las necesidades hídricas se emplearán diferentes fórmulas establecidas por la FAO [7]. Estas fórmulas son aceptadas en cualquier territorio del planeta tras el resultado de muchos años de investigación en el cálculo de la evapotranspiración, valor esencial para poder determinar correctamente la necesidad de agua de un cultivo.

## 3 Arquitectura Hardware

El prototipo está compuesto por los siguientes dispositivos Open Hardware, un microcontrolador Arduino Mega programable [8]; un shield ethernet [9]; shield SparkFun weather [10]; un reloj de tiempo real; sensores de humedad de suelo DFRobot a tres niveles; sensores meteorológicos; un punto de acceso inalámbrico outdoor; una batería de 33 amper; un panel solar de 20 watts; un regulador de voltaje de 5 amperes.

Para capturar los parámetros meteorológicos se utiliza el shield SparkFun weather que tiene integrado los sensores de presión atmosférica (MPL3115A2), luminosidad (ALS-PT19), temperatura y humedad relativa (Si7021). Además se conectan a este shield una veleta, que nos permite calcular la dirección del viento en 36 puntos

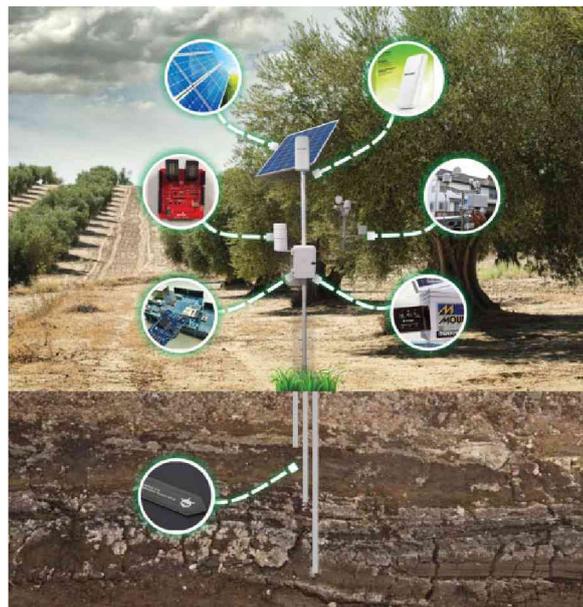
cardinales, un anemómetro, para la velocidad del viento hasta una velocidad máxima de 200 km/h, un pluviómetro encargado de medir las precipitaciones (weather meters [11]) y un puerto para conectar una antena GPS

Se utiliza un reloj de tiempo real DS3231 RTC [12], que permite llevar un registro detallado del tiempo en las capturas y envío de los datos. La transmisión se realiza a través de los pines SCL y SDA utilizando el protocolo I2C de comunicación.

Para el sensado de la humedad de suelo, se utilizan los sensores DFRobot [13], que miden los niveles de humedad mediante detección capacitiva y es construido con material resistente a la corrosión que prolonga su vida útil.

Los sensores detallados anteriormente son conectados a un dispositivo Arduino mega 2560, que contiene un microcontrolador ATmega2560, y todo lo necesario para realizar la programación e integración de los componentes.

El microcontrolador envía los datos a un servidor a través de un shield ethernet arduino que cuenta con un conector ethernet estándar RJ45 y trae integrado lector de tarjeta Micro SD. El prototipo se abastece de energía eléctrica a través de una batería 12V de 33 amper gel, que es cargada por medio de un panel solar de 20 Watts. Para evitar la sobrecarga que dañen la batería, es necesario utilizar un regulador de 5 amper. En la Figura 1, se puede observar la estructura física de la estación de monitoreo.



**Figura 1.** Estructura Física de la estación de monitoreo

En la figura 2 se muestra el diagrama de conexión de los componentes utilizados en el diseño de la estación.

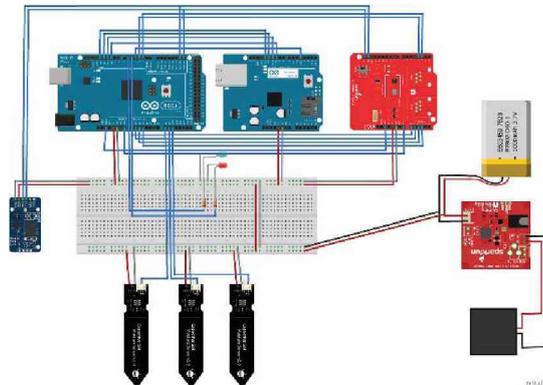


Figura 2. Esquema de conexión de la estación.

## 4 Arquitectura Software

El software está compuesto por cuatro módulos: de captura; de comunicación; de recepción; de aplicación. Las estaciones crean un flujo de índices agro meteorológicos constantes, que se procesan en cada uno de estos módulos de software.

### 4.1 Módulo de Captura

La captura de los índices sensados es el primer paso que se realiza para la obtención de datos agrometeorológicos reales, que luego se procesan para la generación de informes estadísticos, alertas y estimaciones que contribuyen al proceso de toma de decisiones para la gestión del sistema de riego.

Los sensores conectados al prototipo, permiten detectar las variables de instrumentación (temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, precipitaciones, nivel de batería, etc.) y transformarlas en variables eléctricas medibles en una longitud. Estos dispositivos siempre están en contacto con las respectivas variables de instrumentación a través de comportamientos disímiles a nivel software y hardware. Esta captura se realiza en distintos medios físicos o químicos, como puede ser: el aire, el agua, el suelo, la luz, entre otros.

Los sensores reciben instrucciones desde el microcontrolador para capturar señales discretas en un momento determinado (N mediciones por día de cada variable, en base al período seleccionado) y transformarlas a unidades medibles, que se almacenan solo por un intervalo de tiempo en una variable global ocupando memoria SRAM del microcontrolador.

La estación solo realiza la captura de señales cuando está en funcionamiento y se encuentra activa. El período es manipulable y puede variar su rango de acuerdo a las necesidades agrometeorológicas.

## 4.2 Módulo de Comunicación

Para la comunicación, la estación cuenta con un shield Ethernet con chip W5100 Wiznet, que utiliza el protocolo de comunicación TCP-IP. La comunicación se establece utilizando las diferentes librerías de software provistas por el fabricante permitiendo configurar cada estación en modo ethernetClient. Esta placa tiene integrado un conector RJ45 al que se conecta a una antena Wifi outdoor.

El microcontrolador Arduino Mega establece una nueva conexión cliente por medio del Shield Ethernet, en caso de ser ésta exitosa, se invoca una solicitud GET HTTP al servidor. Esta solicitud está compuesta por un string de datos a enviar que especifica la dirección del servidor de aplicaciones, el directorio de ubicación, el código ejecutable, el archivo y todos los datos relevantes a transmitir [14].

En el servidor se ejecuta un bloque de código de recepción de datos que se encarga de crear un archivo (o situarse al final de este en caso que ya esté creado), formatear e insertar los datos enviados desde la estación.

Si la conexión Ethernet Cliente no fue exitosa, los datos son almacenados en una memoria micro SD ubicada en el Shield Ethernet. Cuando se restablece la conexión, se procede a enviar las cadenas string almacenadas y no enviadas, liberando el archivo en la memoria micro SD ante un envío exitoso.

## 4.3 Módulo de Recepción

Una vez que los índices de las diferentes estaciones han sido capturados por los sensores y comunicados a través del canal de comunicaciones pueden ser afectados por ruidos en la transmisión. Para evitar que datos erróneos sean cargados son analizados, utilizando técnicas de detección y corrección de errores, de análisis de patrones y mecanismos de razonamiento, antes de ser almacenados en la base de datos central.

Este módulo ejecuta un software en segundo plano, que se encarga de tomar los archivos provenientes de las estaciones, para luego acceder, verificar y almacenar los índices capturados en una base de datos central implementada en el gestor de base de datos relacional MySQL

## 4.4 Módulo de Aplicación

El módulo de aplicación está compuesto por tres submódulos: seguridad, gestión y procesamiento y generación de informes.

### 4.4.1 Submódulo de seguridad

Este es el encargado de determinar las opciones de acceso al módulo de aplicación sobre la base de los diferentes roles y perfiles de los usuarios. La validación de usuario garantiza el acceso a las diferentes opciones del sistema de acuerdo a cada perfil de usuario.

#### 4.4.2 Submódulo de Gestión y Procesamiento

Este contiene un tablero de comandos, que incluye información de control y de tiempo real promedio de las estaciones con la representación gráfica de los principales indicadores que intervienen en la toma de decisiones.



Figura 3. Tablero de comandos con información en tiempo real.

Contiene una interfaz que permite visualizar datos históricos y en tiempo real de las distintas variables sensadas, generando gráficos que facilitan la lectura de la información y la toma de decisiones. La aplicación admite la generación e impresión de informes mostrando históricos de lecturas con gráficos estadísticos, personalizando el periodo de tiempo, como así también permite incluir parámetros de configuración para personalizar las características disponibles, dotando de versatilidad a la aplicación, extendiendo su uso a más casos y escenarios (cantidad de índices sensados, sectores, estaciones, etc.).

El sistema procesa los datos disponibles combinando y aplicando funciones matemáticas cuyos resultados se traducen en la generación de alertas y estimaciones relacionadas con el riego utilizando interfaces gráficas que contribuyen al proceso de toma de decisiones.

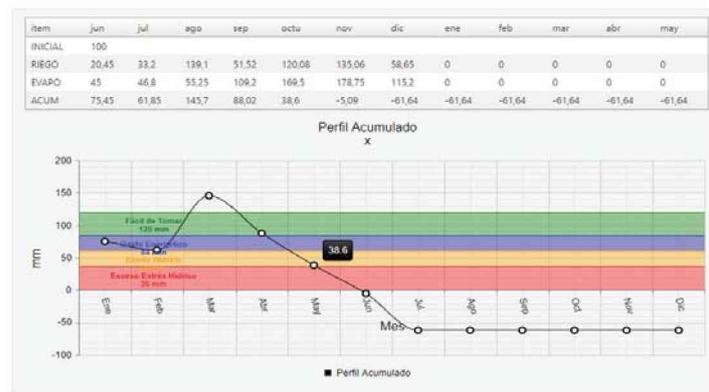


Figura 4. Lamina inicial, Riego y Evapotranspiración.

La interfaz diseñada también permite verificar diferentes aspectos de la estación, como: su estado (en funcionamiento o no), niveles de la batería, conectividad, ubicación geográfica y toda la información pertinente.

#### **4.4.3 Submódulo Generación de Informes**

Este submódulo permite generar informes estadísticos, integrando la información registrada y procesada por el sistema de gestión de riego [15], ya implementado, con los índices sensados y procesados por este prototipo. Los índices sensados en tiempo real por la estación son combinados y concatenados con los datos registrados por sistema de gestión de riego.

La aplicación admite la generación e impresión de informes mostrando históricos de lecturas con gráficos estadísticos, personalizando el periodo de tiempo.

## **5 Escalabilidad y Soporte a la toma de Decisiones**

Actualmente en la región, el proceso de toma de decisiones relacionados con la gestión de riego y la fertilización de los cultivos se lleva a cabo a través del procesamiento de los datos proporcionados por algunas estaciones meteorológicas y/o dataloggers, ubicadas en lugares distantes representativos de una amplia zona de cobertura con características disímiles. El costo elevado de adquisición de estos equipos, su mantenimiento y la necesidad de software adicional para el procesamiento de los índices capturados, son factores que limitan a los productores en la adquisición de la cantidad de equipamiento necesario para una adecuada planificación y gestión del riego.

La estación agrometeorológica y el software asociado presentado en este trabajo, integrado al software de gestión de riego y fertilización, suministran a un bajo costo, los índices agrometeorológicos e indicadores necesarios para la gestión de un sector de la plantación en particular.

Los dispositivos utilizados incorporan una tecnología que permite un alto grado de escalabilidad, tanto en los índices que se pueden medir y monitorizar como en el tamaño de la red. El prototipo desarrollado puede ampliarse fácilmente a más sectores de la finca, además de extender el ámbito de índices agrometeorológicos a ser monitorizados.

La implementación de varias estaciones agrometeorológicas permitirá medir la necesidad real de agua del cultivo y las características del clima en aquellos sectores de la finca en donde los índices agrometeorológicos tienen un comportamiento disímil; contribuyendo a una adecuada y certera distribución del riego y la fertilización en el cultivo de la región.

## **6 Trabajos relacionados**

El presente trabajo incluye tanto desarrollo de hardware (estación inalámbrica y sensores) como de software (recolección, análisis y procesamiento de índices

agrometeorológicos) y se desarrolló como Trabajo Final de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad Nacional de Chilecito, como parte del proyecto “Red de Sensores Inalámbricos basado en microcontroladores para la monitorización del riego presurizado en plantaciones de olivo”, el cual se presenta como continuidad de la línea de investigación iniciada con del proyecto “Programación y generación de pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas, utilizando TIC”, y como complemento del proyecto “Integración y administración de índices de sensado en la programación y pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas”. Aprobados por la Secretaría de Ciencia y Tecnología, convocatoria de financiamiento para estímulo y desarrollo de la investigación científica y tecnológica (Ficyt–UNDEC) .[16]

Como parte de estos últimos proyectos se desarrolla el Sistema de Gestión de Riego y Fertilización implementado en una empresa de agroinsumos de la región, a partir del cual y como complemento se diseña y construye el trabajo presentado en este artículo.

## **7 Conclusiones y Trabajos a Futuro**

El objetivo fundamental es determinar el momento más adecuado para regar y la cantidad de agua a aplicar en función de, entre otros factores, el estado de humedad del suelo, de la planta y la uniformidad en el reparto de agua del sistema. La elección del nivel de automatización del riego debe realizarse siguiendo criterios técnico-económicos, según las características de la finca y las preferencias de los agricultores. El máximo nivel a alcanzar sería el control total del sistema, la humedad del suelo, el estado hídrico de la planta, del clima, y otros, incluyendo los sistemas de adquisición de datos para una adecuada gestión del riego y fertilización.

El seguimiento y control de estas variables ofrece la posibilidad de modificar las pautas prediseñadas de turnos de riego, volúmenes de agua y fertilizantes aplicados de acuerdo a la evolución meteorológica, a la disponibilidad de agua y al estado fenológico del cultivo, desde un punto centralizado que comande lo que sucede en distintos sectores de la finca.

El desarrollo de una estación con fines agrometeorológicos construida íntegramente con materiales que se consiguen fácilmente en el mercado local y de bajo costo, permite medir la necesidad real de agua del cultivo en aquellos sectores de la finca en donde las variables agrometeorológicas tienen un comportamiento disímil; contribuyendo a una adecuada y certera planificación y distribución del riego y la fertilización en los cultivos de la región.

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) podrá ajustarse a sectores más acotados y por consiguiente reflejar valores adecuados a las características de cada zona, permitiendo mejorar la gestión del recurso energético, factor crítico en el costo de producción en estas regiones de climas áridos.

Como trabajos futuros se proyecta complementar el software desarrollado con otra aplicación que permita la normalización de las series agrometeorológicas y posibilite métodos avanzados de detección y corrección de errores.

## 8 Referencias

1. M. L. Marote, "Agricultura de Precisión", Ciencia y Tecnología 10, ISEU, (2010).
2. Alberto E. Riba, J. Tejada, F. Carmona, F. Frati, M. Pérez, E. Portugal Murcia, N. Acosta, J. M. Toloza, "Agricultura de precisión y Data-driven agriculture en regiones de climas áridos", XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, (2017).
3. Schuster, E. W., Kumar, S., Sarma, S. E., Willers, J. L., & Milliken, G. A. Infrastructure for data-driven agriculture: identifying management zones for cotton using statistical modeling and machine learning techniques. In Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT), 8th International Conference & Expo on (pp. 1-6). IEEE, (2011).
4. Alberto E. Riba, F. Carmona, F. Frati, J. Tejada, N. Acosta, J. M. Toloza, "Integración y administración de índices de sensado en la programación y pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas," XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, eje: Innovación en sistemas de software, (2012).
5. Tamayo, M. "El proceso de la investigación científica", Editorial Limusa, (2004).
6. Carmen R. Salazar G, Francisca Losavio, Alfredo Matteo, "MeRinde process model adaptation with Requirements Engineering techniques supported by Free Software tools", Computing Conference (CLEI), XXXIX Latin American, (2013).
7. Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. "Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje" 56. Roma, Italia. 298 p, (2006).
8. Arduino, Arduino Mega, <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>
9. Arduino, Arduino Ethernet Shield, <https://store.arduino.cc/arduino-ethernet-shield-2>
10. Sparkfun Start something, <https://www.sparkfun.com/products/13956>
11. Sparkfun Start something, <https://www.sparkfun.com/products/8942>
12. Maxim Integrated, <https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/real-time-clocks/DS3231.html>
13. Dfrobot, Capacitive Soil Moisture Sensor, [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Capacitive\\_Soil\\_Moisture\\_Sensor\\_SKU:SEN0193](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU:SEN0193)
14. Viñas Gutiérrez, M. Control de acceso mediante NFC con Arduino. (2017)
15. Jorge Tejada, Sistema de Gestión de riego y fertilización. Tesis de grado, Universidad Nacional de Chilecito (2014).
16. Carmona, F. B., Riba, A. E., Frati, F. E., Tejada, J. D., Martínez del Pezzo, A., Robador, E. R. D. & Toloza, J. M. Tecnologías de la información y de las comunicaciones aplicadas a problemas de agricultura regional. En XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. (2014)