

## Red de Sensores Inalámbricos Basado en Microcontroladores para la Monitorización del Riego Presurizado en Plantaciones de Olivo

Portugal Murcia Emmanuel Alejandro<sup>1</sup>, Carmona Fernanda Beatriz<sup>2</sup>, Riba Alberto Eduardo<sup>3</sup>, Tejada Jorge Damian<sup>4</sup>,

Emmanuel.portugal.91@gmail.com  
{fbcarmona, ariba, jtejada}@undec.edu.ar  
Universidad Nacional de Chilecito<sup>5</sup>

**Resumen.** La automatización y control de los sistemas de riego han evolucionado notablemente existiendo diferentes tecnologías que permiten determinar el contenido de agua en el suelo afinando su relación con el clima, conociéndose el estatus hídrico de la planta. Lo que falta es un sistema de ayuda a la toma de decisiones para la planificación del riego que contemple los índices obtenidos y los requerimientos hídricos de la planta, variables climáticas y características del suelo de los diferentes sectores de la finca.

La solución combina dispositivos de hardware y aplicaciones de software utilizando microcontroladores y sensores para el diseño de estaciones inalámbricas que capturen la información proveniente de los distintos sectores de la plantación.

La información de cada estación será transmitida a través de un módulo de comunicaciones a una unidad central con una base de datos que integre la información proveniente, incluyendo una interfaz única para la generación de estimaciones estadísticas y gráficos que contribuyan al proceso de toma de decisiones. Permitirá contar con información verídica, oportuna y en tiempo real sobre el uso del agua de riego y los costos asociados, mejorando la distribución del agua y favoreciendo el riego durante las horas de menor demanda evapotranspirativa.

### 1 Introducción

En las regiones áridas y semiáridas, como el norte argentino, la escasez de los recursos hídricos está causando importantes problemas de abastecimiento que afectan principalmente a la agricultura. En muchas partes del mundo, la competencia creciente por el agua, producto del aumento de la demanda para distintos usos, conlleva a un incremento de su costo y una creciente limitación de su disponibilidad para su uso en la agricultura.

---

<sup>1</sup> Alumno último año Licenciatura en Sistemas UNdeC – Defensa de Trabajo Final año 2016

<sup>2</sup> Ing. en Sistemas de Información. Tutor de Tesis. UNdeC

<sup>3</sup> Ing. en Sistemas de Información. Asesor de Tesis. UNdeC

<sup>4</sup> Lic. en Sistemas de Información. Asesor de Tesis. UNdeC

<sup>5</sup> Calle 9 de Julio 22, (CP F5360CKB) Chilecito La Rioja República Argentina Tel. (03825) 422195 / 427220 www.undec.edu.ar

Se debe tener en cuenta que en los campos de producción intensiva hay dos costos que son significativamente exagerados comparados al resto: los fertilizantes y la electricidad destinada al riego. Así que también la optimización del uso del agua dedicada al riego tiene un impacto directo en la reducción de costos.

Por tanto, uno de los objetivos primordiales en el manejo y gestión de los recursos hídricos destinados al riego en explotaciones agrícolas, debe ser el desarrollo e incorporación de nuevas tecnologías, así como de métodos que permitan conseguir una mayor eficiencia del uso del agua como lo es la Agricultura de Precisión (AP) y las Redes de Sensores Inalámbricas (WSN).

El desafío del presente trabajo es optimizar la productividad de los recursos hídricos del riego presurizado en plantaciones de olivo. Describe el estudio, diseño e implementación de una arquitectura de Hardware, basada en el desarrollo de una WSN utilizando tecnologías de baja escala como lo es Microcontroladores, Sensores, medios de conectividad, entre otros; esto permitirá capturar de manera automática y sincronizada todas las variables predefinidas que sean de interés para que los agrónomos puedan monitorear, y así estimar, evaluar y entender las variaciones existentes, con el objeto de determinar con mayor exactitud las necesidades de riego, fases de desarrollo y maduración de los productos. De esta forma, permitirá poder tomar decisiones más rápidas y precisas a cerca de las necesidades Hídricas de las plantas a través de un tablero de comandos y poder generar distintos tipos de informes sobre las mismas; como así también disminuir la cantidad de recurso hídrico utilizado sin necesidad y los costos que esto conllevan.

## 2 Antecedentes

La automatización y control de las redes y sistemas de riego por goteo y microaspersión han evolucionado notablemente en la última década, pasando de la necesidad de convertir en acciones automáticas lo que se hacía manualmente a requerir, actualmente, herramientas que permitan la gestión integral y eficiente de todas las tareas relacionadas con la distribución del agua para riego.

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, como también la temperatura, y la estación del año en la que estemos.

La programación del riego puede lograrse por distintos métodos basados en la medición o estimación de variables ambientales (temperatura, presión, radiación solar, evapotranspiración); monitoreo en el crecimiento y desarrollo del cultivo o fitomonitoreo (tamaño del fruto, tamaño del tallo, flujo de savia, índice de estrés hídrico), y / o la medición de variables en el suelo (temperatura, humedad, conductividad, constante dieléctrica); estableciendo de manera lo más precisa posible, la cantidad y oportunidad de agua a aplicar.

Actualmente las parcelas de la región capturan la información relacionadas con estas variables de manera aislada e independiente por tipo sensor (de temperatura ambiente,

de humedad de suelo, dendrómetros, estaciones meteorológicas), utilizando para el análisis e interpretación de datos la interface de software suministrada por el fabricante del dispositivo.

La ejecución del proyecto comenzó con la recopilación y análisis de información necesaria para la determinación de los requerimientos y la definición del dominio del problema a resolver. Esta información proviene en gran parte del trabajo realizado en los proyectos anteriores, (“Programación y generación de pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas, utilizando tecnologías de la información y las comunicaciones” (Ficyt-2007/aprob.2009) e “Integración y administración de índices de sensado en la programación y pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas” (Ficyt-2011)) y que corresponden a la misma línea de investigación. Aunque fue necesario realizar relevamiento de campo para definir específicamente los requerimientos relacionados con las herramientas y el hardware a utilizar.

Actualmente ya se encuentra desarrollado e implementado un sistema que permite administrar la gestión de riego y fertilización de un grupo de parcelas de la empresa VG Agronegocios, División Olivos, ubicada en ruta nacional 74 Km 1169 Vichigasta.

Este sistema administra una base de datos históricos de riego de 10 años y permite en base a informes estadísticos estimar el requerimiento de agua por sector y su planificación mensual de riego. El desarrollo del sistema permitió derivar la necesidad de trabajar con la captura e interpretación de datos relevados por sensores y estaciones meteorológica para determinar el stress hídrico de la planta y la humedad del suelo, que, integrados con los datos registrados en el sistema permitiera definir con más precisión la planificación del riego y realizar con más rapidez y eficacia todas las tareas.

Este proyecto pretende integrar toda esta información utilizando WSN, a través de la implementación de nodos remotos que capturen la información proveniente de cada uno de los sensores en distintos sectores de la plantación con características diferentes.

La información de cada nodo será transmitida a través de un módulo de comunicaciones a una estación central con una Base de Datos que integre la información proveniente de los distintos nodos, incluyendo una interfaz única para la generación de estimaciones estadísticas y gráficos que contribuyan al proceso de toma de decisiones relacionadas con el pronóstico y la planificación del riego.

Las WSN están compuestas por dispositivos inalámbricos autónomos que llevan incorporados sensores para la recolección de datos de distinta naturaleza. Estas redes de comunicación sensorial se caracterizan por su escalabilidad, ausencia de cableado, bajo consumo, gran variedad de magnitudes físico/químicas medibles, entre otros.

Todas estas cualidades hacen que estas redes sean muy interesantes para su aplicación en multitud de áreas, entre ellas la agricultura, sobre todo para desarrollar aquellas aplicaciones que, por su naturaleza, serían más costosas y complejas de implementar con otras tecnologías.

La implantación de estos sistemas de captura permitirá contar con información verídica, oportuna y en tiempo real del uso que se hace del agua de riego y los costos asociados consumo de la misma, como así también mejorar la eficiencia en la distribución

del agua, optimizando el momento de disponibilidad de la misma, favoreciendo el riego durante las horas de menor demanda evapotranspirativa.

### 3 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 [TamayoTamayo-2009] 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 (MeRinde). Fue desarrollada en el Centro Nacional de Tecnologías de Información, en el año 2007.
- Metodología agronómica: Para el cálculo del riego y las necesidades hídricas se emplearán diferentes fórmulas establecidas por la FAO<sup>6</sup>. 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.

### 4 Objetivo y Alcances

#### 4.1 Objetivo

Implementar una solución que combine dispositivos de hardware y aplicaciones de software para la monitorización en tiempo real de la medición de las diferentes variables que influyen sobre la necesidad hídrica del cultivo de olivo.

#### 1.1 Alcances

La solución combina dispositivos de hardware y aplicaciones de software utilizando microcontroladores y sensores de bajo costo (de temperatura ambiente, presión, humedad y temperatura de suelo, clima, sensor lumínico) para el diseño de estaciones inalámbricas que capturen la información proveniente de cada uno en distintos sectores de la plantación.

---

<sup>6</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations.

La información de cada estación será transmitida a través de un módulo de comunicaciones a una unidad central con una base de datos que integre la información proveniente de las distintas estaciones y el sistema de gestión de riego y fertilización [JorgeTejada-2014] ya implementado en la empresa.

Desarrollo de una interfaz única para la generación de estimaciones estadísticas y gráficos que contribuyan al proceso de toma de decisiones, utilizando técnicas de análisis de datos.

## **5 Módulos y resultados esperados**

La solución contempla el desarrollo de los siguientes módulos de software:

### **5.1 Modulo de Aplicación**

#### **SubModulo Seguridad**

La aplicación será capaz de determinar las opciones de aplicación en base a los diferentes roles de los usuarios, valida un usuario único y garantizar las acciones dentro del sistema.

#### **SubModulo de Gestión y Procesamiento. (procesamiento y estimación de datos estadísticos como apoyo a la toma de decisiones)**

La empresa actualmente no cuenta la integración de toda la información disponible, por lo tanto, no cuenta con herramientas que permitan la generación de estimaciones estadísticas y gráficos relacionados que contribuyan a la toma de decisiones.

Para lo cual es necesario el diseño de una interfaz (aplicación) que permita visualizar datos históricos y reales, en un determinado rango, de las distintas variables medidas y calculadas, generando gráficos que faciliten la lectura de la información y por ende la toma de decisiones.

La aplicación admitirá la generación e impresión de informes mostrando históricos de lecturas con gráficos estadísticos, personalizando el periodo de tiempo, como así también permitirá a un administrador un amplio grado de configuración de la misma para configurar todas las características disponibles y también para dotar de versatilidad a la aplicación para poder extender su uso a más casos y escenarios (más variables físicas medidas, nuevos sectores, agregar estaciones, etc.).

El sistema procesará los datos disponibles (combinando y aplicando funciones matemáticas) mostrando gráficos y estimaciones.

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

A través de este medio será posible pedir retransmisión de la información de una determinada estación inalámbrica, como así también verificar y aprobar el vaciado de la memoria micro SD para proceder a guardar los nuevos índices medidos.

### **SubModulo Generación de Informes**

Cuando el Gerente de Finca determina que requiere un informe y/o gráfico estadístico sobre algún aspecto que se registre en planillas de cálculo busca las planillas adecuadas y copia los registros que le son de utilidad en una nueva planilla, luego arma los campos necesarios para realizar el informe; finalmente lo genera e imprime.

Muchas veces ocurre que los datos necesarios no se hallan por no haber sido registrados o simplemente no los encuentra. Otras veces a pesar de contar con los datos simplemente no puede generar el informe y/o gráfico por exceder este su capacidad de manejo de las planillas de cálculo.

Con el tiempo se ha formado la idea de que los informes de Excel son en parte inútiles por el gran tiempo en que se tarda para hallar los datos y para procesarlos a fin de obtener los resultados esperados.

Este proceso arduo, dificulta la toma de decisiones gerenciales dentro de la empresa, por lo que también puede producir alteraciones negativas en los balances económicos, contrarrestando al principio de la organización.

El sistema automatizará la generación de informes estadísticos y de control integrando la información registrada y procesada por el sistema de gestión de riego y los capturados y registrados por el sistema a implementar.

## **5.2 Módulo de Captura. (Captura y almacenamiento de las variables provenientes de los sensores)**

La captura de los índices de las variables es el primer paso a realizar, esta permite la obtención de datos reales que servirán luego para una toma de decisiones más precisa y localizada.

Estos índices en la actualidad, son obtenidos desde la Estación Meteorológica en forma periódica, la estación permitirá elegir qué aportar en tiempo de captura.

Los sensores permiten detectar magnitudes físicas o químicas, también llamadas variables de instrumentación (temperatura, humedad, intensidad lumínica, presión atmosférica, pH, etc.) y transformarlas en variables eléctricas medibles en una dicha longitud. Estos dispositivos siempre estarán en contacto con las respectivas variables de instrumentación a través de comportamientos disímiles a nivel software y hardware.

La transformación en variables eléctricas se realiza en tres fases:

Un fenómeno físico o químico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.

La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.

El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un computador. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Los sensores pueden ser programados para que capturen información cada un cierto período, lo cual nos refleja que tendremos n mediciones por día, en base al período seleccionado, de cada variable que tengamos presente. Lo que conlleva que a futuro la base de datos sea relativamente grande.

Esta captura se realiza en distintos medios físicos o químicos, como puede ser: el aire, el agua, el suelo, la luz, etc.

Al tener como producto final una señal discreta por cada sensor, el siguiente paso es transmitir y/o almacenar en algún dispositivo de almacenamiento masivo que permita guardar los datos de forma segura y estable.

En la actualidad, los encargados almacenan datos acerca de los índices medidos durante el transcurso del tiempo en “hojas de cálculos”, como consecuencia se requiere de mayor tiempo de registro, procesamiento, y generación de datos estadísticos y reportes.

Una vez capturados los índices a través de las estaciones inalámbricas, por medio de los diferentes sensores, se deberán almacenar en un determinado repositorio para su posterior uso.

A este almacenamiento, podemos realizarlo en dos instancias: El almacenamiento de las variables obtenidas en tiempo real; y el almacenamiento de los datos ya analizados y corroborados. Cualquiera de los dos casos ya es información manipulable por el usuario.

Los índices se almacenarán en una memoria extraíble Micro SD de la placa Arduino Ethernet, repitiendo este proceso continuamente.

Una Memoria SD o Flash es un dispositivo de almacenamiento que tiene varias funciones muy útiles dependiendo de cómo y dónde es usada. Algunas formas comunes para usar este tipo de tarjetas es utilizarlas en pequeños dispositivos, como pueden ser teléfonos móviles o cámaras digitales, y en nuestro caso en un microcontrolador, para poder agregar memoria temporal que esté disponible y así almacenar los datos. Estas se adaptan a los estándares desarrollados y mantenidos por la asociación digital de seguridad.

El tamaño total de los índices de las variables almacenadas en la SD no es un factor crítico, ya que estos ‘datos’ no ocupan tanta capacidad de memoria y serán retransmitidos en un determinado horario, a la base de datos central, para su posterior procesamiento y utilización en la toma de decisiones.

La base de datos central es una base de datos que cumple con el modelo relacional, el cual es el modelo más utilizado en la actualidad para implementar bases de datos ya planificadas. Permiten establecer interconexiones (relaciones) entre los datos (que están guardados en tablas), y a través de dichas conexiones relacionar los datos de ambas tablas.

Existe software exclusivamente dedicado a tratar con bases de datos relacionales. Este software se conoce como SGBD (Sistema de gestión de base de datos relacional), y en este caso se utilizará MySQL como manejador de la base de Datos Relacional.

### **5.3 Módulo de Comunicación. (para la transmisión de los datos recolectados por la estación).**

Tal vez el punto más importante se encuentra en la etapa de comunicación entre los extremos adyacentes.

Actualmente, el responsable de recoger los datos, tiene que desplazarse hasta las estaciones meteorológicas con la que cuenta la finca, tomar los datos por algún medio, volver a las oficinas centrales y depositar los valores obtenidos durante todo un mes en hojas de cálculo que utilizan para el procesamiento.

La comunicación se divide en dos partes: comunicación para la transmisión de los datos recolectados y comunicación para la recepción de los datos transmitidos. En el primer caso, los datos recolectados y guardados en la memoria Micro SD ubicada en la placa Arduino, son transmitidos durante desde la estación inalámbrica hacia la estación central, repitiendo este proceso. En el segundo caso, la estación central es capaz de receptor los datos que provienen de las estaciones inalámbricas y almacenarlas en la base de datos central.

El microcontrolador Arduino Ethernet permite conectarse por Ethernet a diferentes sistemas como el internet o hacer alguna topología de Red. Está basada en el chip Ethernet W5100 de Wiznet, y nos provee IP para TCP como para UDP. Se utilizan diferentes librerías provistas por el fabricante para permitir la comunicación.

La placa viene con un conector RJ45, el que nos permite la comunicación desde y hacia las estaciones inalámbricas y la estación central.

A este conector RJ45, está conectada una antena nanostation2. Son de bajo coste y nos permite realizar un enlace punto a punto hacia la estación central. Dicho camino tiene que estar libre de obstáculos que se interpongan en la comunicación.

Desde el lado de la estación central, se utilizará una antena de comunicación de las mismas características; en caso contrario, si tenemos varias estaciones inalámbricas se empleará una antena multidireccional.

### **5.4 Módulo de Recepción. (De datos transmitidos por las estaciones)**

En la actualidad, en la empresa no se realizan ningún tipo de análisis de datos y/o corrección de errores, de los datos que son recolectados de manera manual por los empleados de la empresa.

En el sistema a implementar, una vez que los índices de las diferentes variables han sido capturados por los diferentes sensores, guardados en la memoria micro SD y luego transmitidos a través del canal de comunicaciones hacia la estación central; antes de ser almacenados de manera permanente en la base de datos central, serán analizados, a



través de técnicas de detección y corrección de errores, de análisis de patrones y mecanismos de razonamiento, los resultados obtenidos integrados con los datos registrados por el sistema de gestión de riego permitirán definir con más precisión la planificación del riego y realizar con más rapidez y eficacia todas las tareas.

Entre las técnicas de análisis de datos a estudiar para su implementación podemos mencionar la clasificación bayesiana, redes neuronales, lógica difusa.

La comunicación entre la estación inalámbrica y la central introduce ruido externo que produce errores en la transmisión. La detección y corrección de errores es necesaria e importante para el mantenimiento e integridad de los datos, Por lo tanto, debemos asegurarnos que, si dicho movimiento causa errores, éstos puedan ser detectados y corregidos.

Existen dos estrategias básicas para manejar los errores:

Incluir suficiente información redundante en cada bloque de datos para que se puedan detectar y corregir los bits erróneos. Se utilizan códigos de corrección de errores.

Incluir sólo la información redundante necesaria en cada bloque de datos para detectar los errores. En este caso el número de bits de redundancia es menor. Se utilizan códigos de detección de errores.

Podemos nombrar distintos tipos de códigos detectores, entre ellos: paridad simple, suma de comprobación, distancia de hamming; y entre los métodos de corrección y detección de errores tenemos: Dígito verificador, FEC, código binario de golay, código hamming, bit de paridad, etc.

## **6 Actividades programadas**

- Análisis y estudio de diferentes tecnologías de microcontroladores, módulos de conexiones inalámbricas y tipos de sensores disponibles en el mercado.
- Selección de la tecnología más adecuada conforme al objetivo propuesto y a las características del medio en el que se implementarán.
- Desarrollo de un módulo de software para la coordinación de las actividades en el nodo.
- Análisis y desarrollo del módulo de alimentación del nodo.
- Análisis, evaluación y selección del dispositivo de comunicación de datos.
- Diseño del módulo de comunicación entre el nodo y la central de procesamiento de datos.
- Implementación y prueba del nodo remoto en un sector de la finca.
- Incorporación de los requerimientos de cambios detectados durante la prueba.
- Diseño de Base Datos a implementar en el procesador central.

- Diseño y desarrollo de una aplicación para la generación e impresión de informes sobre la base de las variables capturadas.
- Prueba e implementación del sistema integrado.

## **Conclusión**

Actualmente las parcelas 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 de cada uno de los tipos de sensores, utilizando para el análisis e interpretación de datos la interface de software suministrada por el fabricante del dispositivo.

La utilización de nodos remotos que capturen e integre la información proveniente de cada uno de los sensores en distintos sectores de la plantación con características disímiles, permite contar con información verídica, oportuna y en tiempo real del uso que se hace del agua de riego y los costos asociados al consumo de la misma, como así también mejorar la eficiencia en la distribución del agua, optimizando el momento de disponibilidad de la misma y favoreciendo el riego durante las horas de menor demanda evapotranspirativa.

Los dispositivos utilizados en el proyecto incorporan una tecnología que permite un alto grado de escalabilidad, tanto en las variables que se pueden medir y monitorizar como en el tamaño de la red. Se ha logrado construir un primer prototipo como tester para validar los requerimientos definidos, el que derivará en la definición de nuevos requerimientos con la consiguiente investigación de nuevas tecnologías, métodos y herramientas que permitan mejorar la exactitud del sistema y definir con mayor precisión las variables necesarias para optimizar la utilización del agua de riego, como así también hacerlo extensible a varias estaciones remotas.

## **Referencias**

[TamayoTamayo-2009] “El proceso de la investigación científica” cuarta edición, Mario Tamayo y Tamayo. 2009.

[JorgeTejada-2014] Jorge Tejada, Sistema de Gestión de riego y fertilización. Tesis de grado, Universidad Nacional de Chilecito.

[MeRinde] Metodología de la Red Nacional de Integración y Desarrollo de Software Libre.

J. A. Hernández Martínez. SISTEMAS Y SOLUCIONES PARA EL REGADÍO. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, (2012).

M. Castillejo Erviti. AGRICULTURA DE PRECISIÓN MEDIANTE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES. Master de Posgrado, Universidad Pública de Navarra-Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones (2013).

J. Figueira, S. Greco and M.Ehrgott (editors). Multiple Criteria Decision Analysis. State of the art surveys. Ed. Springer, 2005.

Turcksin, L., Bernardini, A., & Macharis, C. A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 20, 954-965, 2011.

R. Fernández Martínez, F. J., Ordieres Meré, J., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R., & Pernía Espinoza, A. V. Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, (2009)