

# Agricultura de Precisión y Data-driven Agriculture en Regiones de Climas Áridos

Alberto Eduardo Riba<sup>(1)</sup>, Jorge Damián Tejada<sup>(1)</sup>, Fernanda Beatriz Carmona<sup>(1)</sup>, Fernando Emmanuel Frati<sup>(1)</sup>, Matías Agustín Pérez<sup>(1)</sup>, Emmanuel Alejandro Portugal Murcia<sup>(1)</sup>, Nelson Acosta<sup>(2,3)</sup>, Juan Manuel Toloza<sup>(2,3)</sup>

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

<sup>2</sup> Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires  
General Pinto 399, Tandil, Buenos Aires, Argentina  
{nacosta, jmtoloza}@exa.unicen.edu.ar

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero  
Mosconi 2736 - Sáenz Peña (B1674AHF), Buenos Aires, Argentina

## Resumen

La tecnología es la impulsora de lo que hoy se denomina agricultura de precisión, los avances en las herramientas de sensado y la generalización del uso de los sistemas de posicionamiento globales, permiten mejorar la productividad agrícola mediante el uso intensivo de los datos generados. Esta tendencia llamada 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.

Esta línea de I+D+i de gran interés regional, se enfoca en el problema de la racionalización y uso eficiente de los recursos agrícolas en regiones de climas áridos, con el objetivo de incrementar la productividad. Estos problemas se detectaron en empresas privadas y organizaciones del medio que se beneficiarán con los resultados obtenidos.

Los temas abordados son transversales a varias áreas, como programación,

probabilidad y estadística, investigación operativa, bases de datos y análisis de sistemas.

Cabe destacar que en los proyectos participan alumnos de grado avanzados y que los desarrollos propuestos convergen en tesinas de la Ingeniería en Sistemas y Licenciatura en Sistemas de la UNdeC.

## Palabras clave:

Agromática, Red de Sensores, Agricultura de Precisión, Data-Driven Agriculture, Series de Datos Agrometeorológicos.

## Contexto

Esta línea de investigación se presenta como continuidad de los proyectos “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 en los años 2009 y 2012 respectivamente, por la Secretaría de Ciencia y Tecnología (FICyT - UNdeC).

A partir de los cuales surgen los proyectos “Utilización de métodos de diseño de software para desarrollar un sistema automatizado de riego”, 2011 – 2013 y “Red de Sensores Inalámbricos basado en microcontroladores para la monitorización del riego presurizado en plantaciones de olivo”, 2013-2015 aprobados por la Secretaría de Ciencia y Tecnología, convocatoria para estímulo y desarrollo de la investigación científica y tecnológica (FICyT - UNdeC).

Por otro lado, se coopera activamente con una empresa del medio dedicada al cultivo de olivo, y se espera que otras empresas de la región se beneficien de los resultados de esta línea de I+D.

## Introducción

La actividad agrícola en la región sólo es posible con la ayuda del riego artificial, utilizándose las tierras para cultivos como el nogal, olivo, vid y frutales. La agronomía es la ciencia aplicada que rige las prácticas agrícolas y es considerada una ciencia espacial. En un lote cultivado es posible encontrar sectores de alta productividad, muy próximos a sectores menos productivos. Esta variación espacial suele estar asociada a factores como la pendiente del suelo, la permeabilidad, el tipo del suelo y la fertilidad. Sin embargo, los agricultores manejan el cultivo de forma homogénea, aplicando dosis de fertilizante o irrigando de manera uniforme todo el lote.

La agricultura de precisión utiliza complejas fórmulas y modelos matemáticos para el análisis de los grandes volúmenes de datos geo- espaciales generados por las distintas tecnologías de sensado, convirtiéndose en

un sistema de control en donde la retroalimentación de la información permite a los productores diseñar tratamientos específicos situados para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos involucrados [1].

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua, por el aumento de la superficie irrigada y por la escasa eficiencia en los sistemas de riego. Por este motivo es de vital importancia lograr un equilibrio hidrológico que asegure el abastecimiento de agua a la población y al sector agrícola.

En regiones de climas áridos el costo final de explotación es afectado en un alto porcentaje por factores imputables al riego. Dentro de este costo se considera la inversión inicial del sistema (detección de las napas, perforación del pozo y tendido del sistema de distribución) y el costo energético para su extracción y distribución (energía eléctrica y combustibles necesarios).

El sistema de irrigación más utilizado por los agricultores es el riego presurizado. Desde el punto de vista agronómico se denominan riegos localizados porque humedecen un sector de volumen de suelo suficiente para un buen desarrollo del cultivo.

Para incrementar la eficiencia en los sistemas de riego es necesario estudiar las distintas variables (requerimientos hídricos de los cultivos, características del suelo, condiciones meteorológicas, propiedades y limitaciones del sistema de riego) y como se relacionan para determinar el uso adecuado del recurso. Estas variables son de naturaleza heterogénea y algunas de ellas pueden ser capturadas automáticamente mediante el uso de sensores para permitir su posterior tratamiento y análisis para una correcta programación del riego.

*Monitorización de riego en cultivos*  
Para la monitorización y programación del riego se debe tener en cuenta:

*Factores ambientales:*

- la medición o estimación de variables ambientales: temperatura, presión, radiación solar, evapotranspiración, entre otras.
- el monitoreo en el crecimiento y desarrollo del cultivo o fitomonitorio: tamaño del fruto, tamaño del tallo, flujo de savia, índice de estrés hídrico.
- la medición de variables en el suelo: temperatura, humedad, conductividad, constante dieléctrica.
- la medición de variables propias del agua aportada: salinidad, alcalinidad, etc.

*Factores artificiales:*

- Limitantes propios del sistema de riego instalado (cañerías, presiones, válvulas, aspersores, goteros). Entre ellos perfil-umbral (capacidad máx. diaria), coeficiente de uniformidad, etc.
- Aspectos económicos relativos al consumo energético utilizado por las bombas. Los aranceles de Kwatt/hora varían según el momento del día en que son consumidos.

Actualmente las parcelas de la región capturan la información relacionadas con algunas de estas variables de manera aislada e independiente por tipo de sensor (de temperatura ambiente, de humedad de suelo, dendrómetros, estaciones meteorológicas, dataloggers, etc.), utilizando para el análisis e interpretación de datos la interface de software suministrada por el fabricante del dispositivo. Para otras variables el método de registro es totalmente manual utilizando planillas en papel y dicha información luego es volcada en planillas de cálculo.

En trabajos anteriores sobre esta línea [2, 3, 4] se implementó un sistema de registro para el procesamiento de esta información, para la cual la carga de datos se realiza manualmente. Trabajos actuales pretenden automatizar la captura de la información de los distintos sensores en cada sector de la plantación utilizando redes de sensores inalámbricos [5]. Esta práctica ha sido implementada con éxito en diversos ámbitos como detección de incendios forestales [6] o la monitorización de viñedos [7]. Cada nodo de la red estará compuesto por un dispositivo inalámbrico autónomo y un conjunto de sensores para la recolección de datos de distinta naturaleza. Estas redes se caracterizan por su escalabilidad, ausencia de cableado, bajo consumo y gran variedad de magnitudes físico/químicas medibles, lo que las vuelve muy interesantes para aplicaciones en agricultura, ya que serían más costosas y complejas de implementar con otras tecnologías.

Se espera que a partir de la automatización de la recolección de información de los sensores y la integración con el sistema actual, se optimice la generación de estimaciones estadísticas y gráficos, lo que contribuirá al proceso de toma de decisiones relacionadas con el pronóstico y la planificación del riego.

*Riego automatizado inteligente*

Existe una gran cantidad de sistemas para la determinación, control y automatización del riego que permiten un consumo óptimo de agua.

En nuestra región, los equipos de riego localizado empleados en la mayoría de las explotaciones agrícolas no poseen automatismos, o en algunos casos, estos se encuentran en desuso. La apertura y cierre de las válvulas de las diferentes subunidades y sectores de riego se realiza en forma manual, acotando los tiempos de

riego, basándose principalmente en la experiencia de quien lo programa o en recomendaciones surgidas de mediciones de humedad de suelo. La fertirrigación sufre de las mismas limitaciones.

#### *Ajuste de series meteorológicas*

La automatización de la recolección de información de sensores permitió notar que las series agrometeorológicas resultantes presentan problemas de completitud, veracidad y exactitud.

La calidad de estas series depende de dispositivos electro-mecánicos (sensores, estaciones meteorológicas, dataloggers), de redes de transmisiones inalámbricas, de personal de mantenimiento y de baterías. Cualquiera de estos factores resulta un punto de fallo ineludible que degrada la calidad [8]. Para mitigar estos se pueden establecer políticas y estándares de funcionamiento de hardware y software que tiendan a prevenirlos, minimizarlos y ante su aparición, controlarlos. A pesar de la implementación de tales políticas existen casos en los que simplemente los fallos ocurren, y se deben tomar medidas ante estas situaciones.

Todos estos motivos inclinaron al estudio, análisis y desarrollo de métodos y técnicas de detección, corrección y ajuste de datos de series agrometeorológicas para mejorar su calidad.

### **Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación**

- Sistemas de Información y Base de Datos
- Sistemas de Tiempo Real
- Diseño de dispositivos de automatización
- Comunicaciones inalámbricas
- Redes de sensores
- Ajuste de series de datos

## **Resultados y Objetivos**

### **Objetivos**

- Analizar y estudiar las diferentes tecnologías de microcontroladores, módulos de conexiones inalámbricas y tipos de sensores (de temperatura ambiente, de humedad de suelo, dendrómetros) disponibles en el mercado.
- Monitorizar en forma centralizada, remota y en tiempo real las variables capturadas por los diferentes sensores.
- Mejorar la capacidad de administración y planificación de los recursos hídricos destinados al riego, a través del análisis de las variables obtenidas de los nodos instalados en sectores con diferentes características de suelo y clima.
- Configurar adecuadamente los algoritmos de control y aplicar estrategias de riego que optimicen la relación kg. producido por m<sup>3</sup> de agua aplicada.
- Evaluar distintos esquemas de control, comparar los resultados e inferir en la elaboración de nuevas estrategias de riego.
- Aumentar la uniformidad y la eficiencia de la aplicación del agua del riego.

Reducir los costos asociados de consumo del agua.

### **Resultados**

Como resultados se puede mencionar el trabajo de tesis de grado de uno de los integrantes, denominado “Sistema de Gestión de Riego y Fertilización”, presentado en 2014.

En el marco de otro trabajo final de grado (fecha de defensa junio 2017), el desarrollo de una herramienta, que combina dispositivos de hardware y aplicaciones de software para la monitorización en tiempo real de la

medición de diferentes variables que influyen en la necesidad hídrica del cultivo, presentado evento 45 JAIHO – Concurso de trabajos Estudiantiles 2016, titulado “Red de sensores inalámbricos basados en microcontroladores para la monitorización del riego presurizado en plantaciones de olivo”.

## Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo está formado por seis docentes de las carreras Ingeniería en Sistemas, Licenciatura en Sistemas e Ingeniería Agronómica de la UNdeC (acreditadas por CONEAU), de la carrera Ing. Sistemas de la UNICEN y UNTREF y dos alumnos de la UNdeC.

De los docentes: 1 es posdoctorado en Informática, 2 son doctores en Informática; 2 maestrandos que presentarán su tesis en la Universidad Nacional de San Juan; un doctorando que presentará su tesis en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Los alumnos de grado se hallan realizando su trabajo de tesina final en esta línea de I+D.

Los integrantes son docentes de las asignaturas Arquitecturas de computadoras II, Arquitecturas paralelas, Programación I y II y Agromática I y II. Estas asignaturas fomentan la participación en proyectos de investigación, por lo que pueden surgir nuevos trabajos en esta línea.

## Referencias

- [1] E. W. Schuster, S. Kumar, S. E. Sarma, J. L. Willers and G. A. Milliken (2011) "Infrastructure for data-driven agriculture", IEEE 8th International Conference & Expo on Emerging Technologies for a Smarter World, New York, NY
- [2] F. B. Carmona, A. Riba, A. Sfeir, and F. E. Frati, “Pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas,” (2008), eje: Ingeniería de Software y Base de Datos. [Online]. available: <http://hdl.handle.net/10915/20640>
- [3] F. B. Carmona, E. A. Riba, A. Sfeir, and F. E. Frati, “Pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas,” (2010), eje: Innovación en Sistemas de Software. [Online]. Available:<http://hdl.handle.net/10915/19571>
- [4] E. A. Riba, F. B. Carmona, F. E. Frati, J. D. Tejada, N. Acosta, and 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,” (2012), eje: Innovación en sistemas de software. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10915/19218>
- [5] C.-Y. Chong and S. Kumar, “Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges,” Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 8, pp. 1247–1256, Aug. 2003.
- [6] Javier Solebera, “Detecting forest fires using wireless sensor networks,” Sep. 2010. [Online]. Available: <http://www.libelium.com/wireless-sensor-networks-to-detect-forest-fires/>
- [7] Alberto Bielsa, “Smart agriculture Project in Galicia to monitor a vineyard with waspmote,” Jun. 2012. [Online]. Available: <http://www.libelium.com/smartagriculture-vineyard-sensors-waspmote/>
- [8] M. N. Khaliq, T. B. M. J. Ouarda (2007) “Short communication on the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT)” International Journal of Climatology, Vol. 27 681-687p