

## Tecnologías emergentes aplicadas a problemas agrícolas en regiones áridas

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

<sup>1</sup> Departamento de Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Chilecito  
9 de Julio 22, Chilecito, La Rioja, Argentina  
{ariba, fbcarmona, jtejada, mperez, eportugal, crios}@undec.edu.ar  
aaron.ariporto@gmail.com

### Resumen

El estudio, análisis y proyección de datos agrometeorológicos de los valles de nuestra provincia permite ofrecer asesoramiento a los sectores público y privado para el desarrollo de la agricultura sustentable, de manera tal que los sistemas de producción tengan la capacidad de mantener su productividad, rentabilidad y desarrollo en sus comunidades a largo plazo y además, realizar investigaciones agronómicas, meteorológicas, biológicas y ecológicas de interés en temas tales como el cambio climático, la prevención de plagas, entre otros.

El sector agrícola regional se esfuerza por aplicar prácticas modernas que garanticen una provisión segura y sostenible de alimentos de calidad, fomentar la eficiencia del uso de recursos y desarrollar una economía rentable.

La agricultura de precisión cumple un rol muy importante en estas prácticas, los avances en herramientas de sensado, la generalización del uso de los sistemas de posicionamiento globales junto a la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) representa una potente herramienta para el procesamiento de los datos recolectados generando mapas que permitan visualizar e interpretar los resultados de manera gráfica, contribuyendo al proceso de toma de decisiones.

La captura automática de datos de la mano de Internet de las Cosas (IoT), los sistemas de bases de datos espaciales y NoSQL, el aumento en la velocidad de procesamiento High Performance Computing (HPC) y el nuevo paradigma de servicios de Cloud Computing (CC) han fomentado y potenciado la interrelación de los SIG con su entorno,

integrando cada vez más aplicaciones que gestionan y procesan este tipo de datos.

Esta línea de I+D+i de gran interés regional, se enfoca en el problema de la racionalización y el uso eficiente de los recursos agrícolas en regiones de climas áridos, con el objetivo de incrementar la productividad y combatir el cambio climático.

### Palabras clave:

Agromática, Data-Driven Agriculture, Agricultura de Precisión, Sistemas GNSS, Sistemas de Información Geográficos, Series de Datos Agrometeorológicos.

### Contexto

Esta línea de I+D+i corresponde al desarrollo e implementación de proyectos que fortalecen la inserción de la Universidad Nacional de Chilecito (UNdeC) en la comunidad y especialmente en el medio productivo de la región y refiere a proyectos aprobados por la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SECYT), convocatoria para estímulo y desarrollo de la investigación científica y tecnológica (FICyT – UNdeC); “Programación y generación de pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas, utilizando TIC” 2009-2011, “Integración y administración de índices de sensado en la programación y pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas”, 2012-2014, “Utilización de métodos de diseño de software para desarrollar un sistema automatizado de riego”, 2011-2013, “Red de Sensores Inalámbricos basado en microcontroladores para la monitorización del riego presurizado en plantaciones de olivo”, 2013-2015,

“Incremento de la precisión posicional relativa utilizando receptores GPS de bajo costo” 2016-2018, “Sistemas de Información para el modelado y simulación de variable meteorológicas”, período de ejecución 2020-2022.

Esta línea se vincula con el proyecto “Software y aplicaciones en Computación de Altas Prestaciones” presentado en la Convocatoria Proyectos de I+D 2018 lanzada por la SECYT de la UNdeC con RR N° 883/18, para aquellos casos donde el cúmulo de datos a procesar necesite recurrir a técnicas de procesamiento paralelo para disminuir el tiempo de procesamiento de los datos.

Los proyectos enmarcados en esta línea convergen en Trabajos Finales de las carreras Ingeniería en Sistemas y Licenciatura en Sistemas de la UNdeC con la participación de docentes y alumnos avanzados de éstas.

## Introducción

Los valles cordilleranos de la provincia de La Rioja integran una de las principales regiones frutícolas de la Argentina. Si bien estos frutales encuentran un ambiente propicio para desarrollarse vegetativa y productivamente, la condición climática de algunos sectores de los valles no garantiza que estos cultivos puedan ser actividades rentables y sustentables [1]. Por este motivo, los estudios de las condiciones climáticas como el comportamiento de las temperaturas en las distintas estaciones del año son de fundamental importancia para favorecer el desarrollo agropecuario en la región.

En la actualidad el proceso de recolección de datos climáticos se automatiza a través del uso sensores meteorológicos con capacidades de procesamiento y almacenamiento. La UNdeC dispone de una red de 80 sensores de temperatura distribuidos en tres valles (Valle La Costa, Valle Antinaco los Colorados y Valle Del Bermejo). Los datos generados son recolectados y guardados en una Base de Datos con capacidad de almacenar información georeferenciada. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta fundamental para el análisis de este tipo información porque permiten

generar mapas que facilitan el análisis visual de los datos.

La actividad agrícola en la región sólo es posible con la ayuda del riego artificial. 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 [2].

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 y el costo energético para su extracción y distribución.

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 y como éstas 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.

Como resultados de los proyectos desarrollados en esta línea de investigación se implementó un sistema de registro para el procesamiento de esta información

relacionada con el riego y la fertilización [3, 4, 5]. Se desarrollo una estación inalámbrica que automatiza la captura de la información de sensores ubicados en distintos sectores de la plantación. Cada nodo de la red está compuesto por un dispositivo inalámbrico autónomo y un conjunto de sensores para la recolección de datos de naturaleza agrometeorológica. Esta práctica ha sido implementada con éxito en diversos ámbitos como detección de incendios forestales [6] o la monitorización de viñedos [7]. Estas redes se caracterizan por su escalabilidad, ausencia de cableado y bajo consumo, lo que las vuelve muy interesantes para aplicaciones en agricultura, ya que serían más costosas y complejas de implementar con otras tecnologías.

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

La calidad de estas series depende de dispositivos electromecánicos, 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.

Los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System) son muy utilizados en la agricultura de precisión para georreferenciar sectores de parcelas, existen tecnologías implementadas como NAVSTAR-GPS y GLONASS, y otras en vías de implementación como GALILEO y COMPASS. [9, 10]

La agricultura de precisión necesita de sistemas que provean más precisión en sus localizaciones para optimizar el uso de los recursos, siendo normalmente estos dispositivos más costosos [11]. Por este

motivo es muy importante estudiar, diseñar y desarrollar algoritmos, técnicas y métodos que permitan disminuir el error en la posición entregada por receptores GNSS de bajo costo para mejorar la precisión del posicionamiento. Esta temática es abordada por uno de los integrantes del equipo de trabajo en el desarrollo de su tesis de maestría.

En la actualidad, surge la necesidad de integrar al conocimiento científico la información con base espacial y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son la herramienta idónea para este tipo de trabajo.

La principal característica de un SIG es que está diseñado para trabajar con datos referenciados con respecto a coordenadas espaciales o geográficas, así como trabajar con distintas bases de datos de manera integrada, permitiendo generar información gráfica útil para la toma de decisiones. Los mapas ayudan a condensar varios aspectos de la realidad de una zona cuyo objetivo es reconocer la existencia de patrones espaciales sobre algún fenómeno de interés. Estos son un poderoso instrumento para la organización de la información, y por lo tanto ayudan a la toma de decisiones [12] [13]. Como ya mencionamos en la actualidad el proceso de recolección de los datos se automatiza a través de una red de sensores agrometeorológicos conectados a Internet con mínimas capacidades de procesamiento y almacenamiento [14]. Los datos generados se transmiten y almacenan en una Infraestructura de Datos Espaciales, que debe tener una elevada capacidad de gestión y almacenamiento de información georeferenciada. Posteriormente, estos datos serán procesados por Sistemas de Información Geográfica [15] para alimentar modelos predictivos y realizar simulaciones sobre producción, mapas climáticos y analizar variaciones relacionadas con el cambio climático.

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

- Sistemas de Información Geográfica
- Posicionamiento de precisión

- Bases de Datos NoSQL
- Sistemas de Tiempo Real
- Comunicaciones inalámbricas
- Redes de sensores
- Ajuste de series de datos agrometeorológicos

## Resultados y Objetivos

- Identificar y describir las principales magnitudes generadas por los sensores agrometeorológicos.
- Analizar y estudiar las diferentes tecnologías de microcontroladores, módulos de conexiones inalámbricas y tipos de sensores disponibles en el mercado.
- Monitorizar en forma centralizada, remota y en tiempo real las variables capturadas por los diferentes sensores.
- Analizar que tipo de Base de Datos se ajusta mejor para el almacenamiento y gestión de los datos bajo estudio.
- Generar mapas que representen los datos analizados.
- 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.
- Desarrollar técnicas, métodos y algoritmos para mejorar a la precisión del posicionamiento utilizando receptores GNSS de bajo costo en un prototipo de GNSS diferencial.

Los resultados de esta línea de I+D+i permitirá consolidar un grupo de investigación, desarrollo y transferencia, explorar oportunidades de formación de recursos humanos, ofrecer servicios a la comunidad en el área de estudio y potenciar los vínculos de cooperación con otras

instituciones y grupos de docentes-investigadores de la UNdeC.

Como resultados se puede mencionar: los trabajos finales de grado de cuatro de los integrantes, denominados “Sistema de Gestión de Riego y Fertilización”, aprobado en el año 2014, “Estación inalámbrica basada en microcontroladores para la monitorización del riego en plantaciones de olivo” aprobado marzo de 2018, “Sistema de reacondicionamiento de series meteorológicas” aprobado en junio de 2018; “Sistema Colaborativo para el sector vitivinícola” febrero 2020; artículo presentado en el evento 45 JAIIO – Concurso de trabajos Estudiantiles 2016, titulado “Red de sensores inalámbricos basados en microcontroladores para la monitorización del riego presurizado en plantaciones de olivo”; artículo presentado en XXII CACIC en 2016 titulado “Procesamiento de sentencias NMEA-0183 para el análisis de la geometría satelital utilizando receptores GPS de bajo costo”; artículo presentado en XXIII CACIC en 2017 titulado “Estación de monitoreo en tiempo real de parámetros agrometeorológicos para determinar la necesidad de riego en plantaciones agrícolas”.

## Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo está formado por seis docentes investigadores y dos alumnos de grado avanzados. Dos de ellos son maestrands en informática con trabajo de tesis en desarrollo, seis están cursando la Especialización en inteligencia de datos orientada a Big Data.

Los alumnos de grado se encuentran desarrollando su trabajo final en esta línea de I+D+i.

Los integrantes son docentes de asignaturas que fomentan la participación en proyectos de investigación, por lo que pueden surgir nuevos trabajos en esta línea.

## Referencias

[1] F. Vita Serman, “Estudio agroclimático en detalle para definir la aptitud frutícola (Olivo, Almendro, Pistacho, Pecán y Nogal) de los

valles cordilleranos de Antinaco-Los Colorados, Bermejo y Región Este, de la provincia de La Rioja”, Informe Final Provincia de La Rioja UNdeC, INTA, CFI, 2018

[2] E. W. Schuster, S. Kumar, S. E. Sarma, J. L. Willers and G. A. Milliken, “Infrastructure for data-driven agriculture”, IEEE 8th International Conference & Expo on Emerging Technologies for a Smarter World, New York, NY, 2011

[3] F. Carmona, A. Riba, A. Sfeir, and F. E. Frati, “Pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas”, WICC 2008 eje: Ingeniería de Software y Base de Datos, 2008.

[4] F. Carmona, E. Riba, A. Sfeir, and F. Frati, “Pronósticos de riego presurizado para cultivo de olivo en regiones áridas,” WICC2010 eje: Innovación en Sistemas de Software, 2010.

[5] E. Riba, F. Carmona, F. Frati, J. Tejada, N. Acosta, and J. 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.

[6] J. Solebera, “Detecting forest fires using wireless sensor networks,” Sep. 2010.

[7] A. Bielsa, “Smart agriculture Project in galicia to monitor a vineyard with waspmote,” Jun. 2012.

[8] M. Khaliq, T. Ouarda, “Short communication on the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT)” International Journal of Climatology, Vol. 27 681-687p, 2007.

[9] J. Tolosa, “Algoritmos y técnicas de tiempo real para el incremento de la precisión posicional relativa usando receptores GPS estándar”, SEDICI, Universidad Nacional de La Plata, 2012.

[10] A. Riba, “Procesamiento de sentencias NMEA-0183 para el análisis de la geometría satelital utilizando receptores GPS de bajo

costo”. XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016), 2016.

[11] A. Riba, J. Tejada, F. Frati, N. Acosta, J. Toloza “Aumento de la precisión posicional empleando técnicas y algoritmos para el tratamiento del error en receptores GNSS de bajo costo”, XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2017), 2017.

[12] C. García, S. Moral, R. Pisonero & J. Córdoba, “Creatividad e innovación aplicadas al estudio de la globalización: herramientas digitales como base del aprendizaje”. In La educación geográfica digital (pp. 599-614). Grupo de Didáctica de la Geografía (AGE), 2012.

[13] J. Membrado, “El lenguaje cartográfico en los mapas temáticos”, Estudios Geográficos, LXXV, I 278, 177-201, Doi: 10.3989/estgeogr.201506, 2015

[14] A. Botta, W. De Donato, V. Persico & A. Pescapé, “On the integration of cloud computing and internet of things”, In Future internet of things and cloud (FiCloud), 2014 international conference on (pp. 23–30), IEEE, 2014.

[15] P. Yue, H. Zhou, J. Gong & L. Hu, “Geoprocessing in cloud computing platforms—a comparative analysis”, International Journal of Digital Earth, 6(4), 404–425, 2013.