

Redes de sensores inalámbricos aplicadas a la investigación y producción citrícola

P. Mazzara⁽¹⁾, L. Steinfeld⁽¹⁾, A. Otero⁽²⁾, F. Silveira⁽¹⁾, C. Saravia⁽³⁾, G. Fierro⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

⁽²⁾ INIA Salto Grande.

⁽³⁾ Unidad de Sistemas Ambientales, Fac. de Agronomía, Regional Norte, Universidad de la República.

Resumen

Este trabajo resume la tecnología de redes de sensores inalámbricos, sus características y su potencial para aplicaciones en el agro. Se presentan los resultados de una experiencia piloto de monitoreo de condiciones microclimáticas en una plantación de cítricos como forma de evaluar el potencial de esta tecnología para la detección y cuantificación de la severidad de heladas.

Palabras claves: Cuantificación de Heladas, Monitoreo de Microclima, Redes de Sensores Inalámbricos

I. Introducción

La incorporación de sistemas de información en la producción agropecuaria para disponer datos detallados de la variabilidad de los parámetros más importantes de los procesos, ya sean climáticos o agronómicos, es fundamental para gestionar de manera más eficiente los diferentes predios agrícolas. Estos pueden tener gran impacto tanto en la productividad como en la calidad del producto y en consecuencia en la rentabilidad final.

En el caso de la producción citrícola las variaciones climáticas bruscas, no previstas por las medias históricas, o las variaciones microclimáticas locales, no captadas por estaciones meteorológicas, pueden dificultar la toma de decisiones para la aplicación de medidas técnicas adecuadas. En particular, en lo referente a heladas, disponer de información detallada en tiempo real de la ocurrencia de heladas y de su intensidad a nivel de distintos puntos de un predio, permite, por una parte, planificar mejor su uso y por otra parte, cuantificar el impacto de las heladas en los cítricos. En algunos casos, usualmente vinculados a otro tipo de cultivos, podría incluso utilizarse para tomar medidas de control de heladas.

Una solución que se aproxima a estas funcionalidades es el uso de registradores (*dataloggers*) pero, en este caso, es necesario recorrer el campo para recoger los datos y la información no se dispone en tiempo real, dificultando la toma de decisiones correctivas. Existen soluciones que agregan a estos sistemas comunicación inalámbrica directa con una estación base. Sin embargo la necesidad de disponer un número importante de puntos para captar las variaciones de los diferentes parámetros hace que los costos de estos sistemas sean prohibitivos.

Las redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos dan una respuesta tecnológica a las limitaciones antes mencionadas. Las mismas son fruto de los avances de la microelectrónica, que permiten incorporar un procesador, una memoria y una radio en nodos de pequeño tamaño (también denominados “motes”) con la capacidad de adquirir señales de varios sensores, transmitir esta información a distancias cortas o medias (decenas de metros a cientos de metros) y recibir información de configuración de la medida u otros (ej. configuración de condiciones de alarma).

¹ Este trabajo fue financiado por el proyecto INIA-FPTA 280. Se agradece a Milagro S.A. el apoyo para las pruebas de campo.

Por otra parte la organización de estos nodos en una malla donde la información va pasando de nodo a nodo (red multisalto o “multihop”), permite monitorear grandes áreas y que la red sea tolerante a la falla de un nodo, pues automáticamente la información se trata de transferir por caminos alternativos en la red (Pottie, 1998; Culler et al., 2004).

Todas estas funciones pueden alcanzarse con muy bajo consumo de energía en base a las características del hardware y un adecuado manejo del software que se ejecuta en el procesador del nodo. Este bajo consumo permite que los nodos tengan autonomías de meses y hasta más de un año, con baterías pequeñas (ej. AA alcalinas) e incluso permite pensar en alimentarlos con energía recolectada de su entorno (por ej. solar u otra). Todo esto, como es una característica de este tipo de tecnologías, se da con costos del hardware en permanente disminución.

La posibilidad de implementar redes con estas características comenzó a vislumbrarse a fines de los años 90 (Pottie 1998; Estrin et al., 2001) y las primeras pruebas de concepto surgieron a comienzos de esta década (Mainwaring et al., 2002). El concepto de “smart dust” (Warneke et al., 2001), lleva esta idea al extremo donde los nodos adquieren dimensiones tan minúsculas como una partícula de polvo. Es posible imaginarnos un escenario donde esta utopía sea aplicada a la producción de cítricos, donde cada nodo nos brinda información individualizada relativa a cada árbol, pudiéndose actuar en consecuencia maximizando su rendimiento y al mismo tiempo optimizando los recursos.

Las redes de sensores inalámbricos en el agro

En los últimos años empiezan a surgir las primeras investigaciones y experiencias pilotos de aplicación de estas redes a la producción agropecuaria como herramienta para la agricultura de precisión (a modo de ejemplo: en viñedos en California (Holler, 2008), así como por parte de un proyecto Europeo iniciado en 2006 orientado a control de irrigación (Flow-Aid, 2010).

Recientemente han aparecido en el mercado internacional las primeras soluciones de redes de sensores inalámbricos específicamente orientadas al agro. En nuestro país se viene trabajando desde hace varios años en generar y evaluar esta tecnología, como se describe a continuación.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República se viene trabajando en el desarrollo e identificación de aplicaciones, diseño de componentes, circuitos y sistemas, formándose un equipo multidisciplinario junto a técnicos del INIA, de la Facultad de Agronomía y de la Facultad de Veterinaria. De allí surge la identificación de ventajas, requerimientos y oportunidades para las redes de sensores inalámbricos (por ej. en (Garin, 2006)). El antecedente más inmediato es una red aplicada al monitoreo de las condiciones ambientales en una unidad de producción de cerdos criados a campo en el CRS de la Facultad de Agronomía con resultados satisfactorios (Mazzara et al., 2008; Baccino et al., 2008).

Este trabajo presenta los objetivos y los primeros resultados obtenidos en el marco del Proyecto INIA-FTPA 280: “SIMPA: Sensores Inalámbricos para Manejo Informado de Producciones Agrarias”. En el marco del mismo, se instaló una red de sensores inalámbricos en un predio citrícola de Milagro S.A. para monitoreo de las condiciones climáticas y microclimáticas del mismo con fines tales como el control de enfermedades y la detección y cuantificación de las heladas.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma. La sección II describe la red utilizada y su instalación. La sección III presenta medidas de temperatura recabadas en el invierno de 2010 y su discusión. Finalmente, la sección IV resume las principales conclusiones.

II. Materiales y Métodos

Se instaló y se mantuvo en operación una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de temperatura en un predio citrícola. Se escogió la Quinta 1 de Milagro S.A. situada en Chapicuy

(Lat: 31° 37' 39.9" S, Long: 57° 52' 27.4" W), ya que el predio seleccionado tiene un relieve con desniveles importantes y antecedentes de impacto de heladas en algunas zonas. En la Figura 1 se puede apreciar la topografía del predio y la ubicación dentro del mismo de los siete nodos utilizados en esta experiencia..

(Figura 1)

Características de la red instalada.

Los nodos utilizados en la red de sensores inalámbricos instalada están disponibles comercialmente (TelosB, 2010). La adaptación de los sensores utilizados a estos nodos y el programa que se ejecuta en ellos y controla su operación fueron desarrollados por el equipo del proyecto. Este software está basado en plataformas “open source” para el desarrollo de este tipo de sistemas (TinyOS, 2010), a partir de las cuáles se realizó una implementación para esta aplicación que busca maximizar la duración de las baterías. Asimismo, en el marco del proyecto, los nodos y los sensores fueron acondicionados físicamente para su utilización a la intemperie. A los efectos de la medida de temperatura se dispuso de sensores (TSIC506F, 2010) con una precisión de ± 0.1 °C en el rango - 20 °C a + 50 °C, cuyos datos se obtienen cada 15 minutos. De acuerdo a la evolución medida en la tensión de las pilas, se espera una duración de las mismas mayor a 6 meses.

(Figura 2)

Los nodos mostraron una correcta operación en un campo de cítricos en distancias de 50 a 70 metros entre nodos, cubriendo un área mayor a través de la operación “multisalto”. Un punto débil es el alcance frente a las cortinas de árboles, la mejora del mismo se está evaluando con nodos de mayor alcance, que utilizan comunicación de radio con mayor potencia y menor frecuencia.

Una estrategia ampliamente usada en este tipo de redes es que los datos sean recolectados por un nodo base que luego los pone a disposición del usuario. Se dispone de tres alternativas para este nodo base: (i) que el mismo almacene los datos para toda la red, (ii) que esté conectado a un PC en el cual se almacenan los datos y, eventualmente, se hacen accesibles hacia Internet y (iii) que se conecte remotamente a un PC vía la red celular (utilizando un modem GPRS adicional). En esta primera etapa del proyecto se utilizó la opción (i).

III. Resultados y Discusión

Durante 3 meses la red adquirió temperaturas, pudiendo registrar en varias ocasiones la ocurrencia de heladas. Se realizó un análisis comparativo de la evolución de las temperaturas medidas en cada punto que muestra la capacidad de esta técnica para cuantificar las diferencias microclimáticas. Para evaluar la magnitud de una helada por radiación definimos un índice de severidad de la helada (ISH) calculado como la integral del valor absoluto de la temperatura en función del tiempo durante los períodos en que la temperatura es negativa. Este índice equivale al opuesto del valor medio de la temperatura durante el período en que esta es negativa multiplicado por la duración de este período. Este índice se tomó a los efectos de ponderar tanto la duración como la intensidad de la helada.

En la Figura 3 se pueden observar los ISH para cinco ocurrencias de heladas en cada ubicación del terreno. Aquí puede verse como para heladas de diferente intensidad, se logró captar la influencia de la topografía en cada zona, que se refleja en que las curvas no se cruzan, indicando que si ordenamos las zonas de acuerdo al grado de severidad de las heladas, dicho ordenamiento se mantuvo para las diferentes heladas. En la Figura 4 se grafica la dependencia de la ISH en función de la cota del nodo (altura), pudiéndose observar que cuanto más bajo el terreno, el ISH tiende a ser mayor.

Es interesante también observar la variación de la temperatura a lo largo del día. La Figura 5 grafica la temperatura de los nodos con mayor diferencia de altura (nodos 2 y 4) se puede ver que la amplitud térmica también es mayor para el nodo de menor altura (nodo 2).

(Figuras 3-5)

IV. Conclusiones

Se presentó la tecnología de redes de sensores inalámbricos y una aplicación piloto en un unidad de producción de cítricos. Las medidas recabadas mostraron que el uso de estas redes con nodos adecuadamente ubicados permite relevar las pronunciadas diferencias térmicas en función de la topografía del terreno. A esto se suman las posibilidades que estas redes abren desde el punto de vista de adquisición en tiempo real, conexión con Internet y facilidades de reconfiguración y generación de alarmas.

Referencias

- Culler D., Estrin D., Srivastava M., 2004. Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks, *Computer*, vol.37, no.8, pp. 41-49.
- Baccino D., Etchart C., Tasende M., Mazzara P., Silveira F., Steinfeld L., 2008. Una Experiencia Piloto de Red de Sensores Inalámbricos para Aplicaciones Agronómicas, Encuentro de Potencia, Instrumentación y Medidas, IEEE Uruguay.
- Garín D., 2006. Identificación de oportunidades de uso para sensores inalámbricos de bajo consumo en cadenas de producción del sector agropecuario. Reporte proyecto PDT 17/17.
- Estrin D., Girod L., Pottie G., Srivastava M., 2001. Instrumenting the world with wireless sensor networks, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol.4, pp.2033-2036.
- Flow-Aid, 2010. Farm Level Optimal Water management: Assistant for Irrigation under Deficit; <http://www.flow-aid.wur.nl>; consulta: setiembre 2010.
- Innovative Sensor Technology (ISL). ISL TSic506F; hojas de datos: <http://www.ist-ag.com>. consulta: setiembre 2010.
- Holler M., 2008. High-Density, Multiple Depth, Wireless Soil Moisture Tension Measurements for Irrigation Management, Camalie Vineyards, Napa, California, American Society for Enology and Viticulture.
- Mainwaring A., Culler D., Polastre J., Szewczyk R. and Anderson J., 2002. Wireless sensor networks for habitat monitoring. In *Proceedings of the 1st ACM international Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (Atlanta, Georgia, USA, September 28 - 28, 2002)*. WSNA '02
- Mazzara P., Baccino D., Etchart C., Tasende M., Silveira F., Garin D. y Barlocco N., 2008. Desarrollo de una red de sensores inalámbricos de bajo consumo para aplicación en la producción agropecuaria, IX Encuentro Monogástricos, Montevideo, Uruguay.
- Pottie G.J., 1998. Wireless sensor networks, *Information Theory Workshop*, vol., no., pp.139-140, 22-26.
- TelosB, 2010. MEMSIC, <http://memsic.com/products/wireless-sensor-networks/wireless-modules.html>; consulta: setiembre 2010.
- TinyOS, 2010. <http://www.tinyos.net>, consulta: setiembre 2010.
- Warneke, B.; Last, M.; Liebowitz, B.; Pister, K.S.J., 2001. Smart Dust: communicating with a cubic-millimeter computer, *Computer*, vol.34, no.1, pp.44-51.

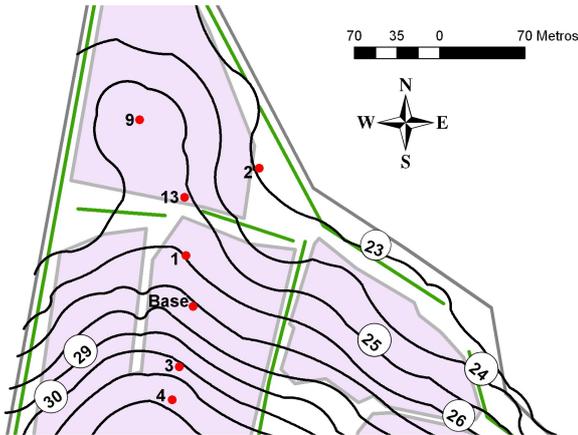


Figura 1 – Mapa del predio donde se muestra la ubicación de cada nodo y la topografía.

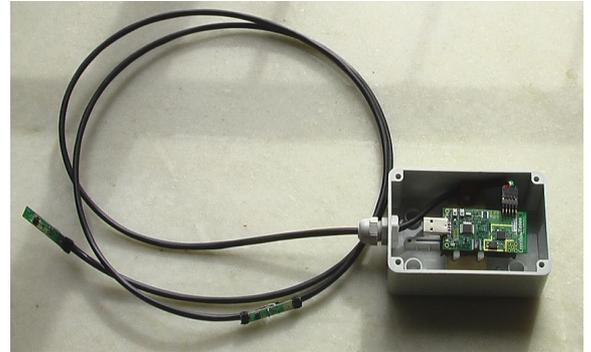


Figura 2 – Nodo de red de sensores inalámbricos en su caja estanca con dos sensores conectados. Las dos pilas AA se hallan debajo del circuito.

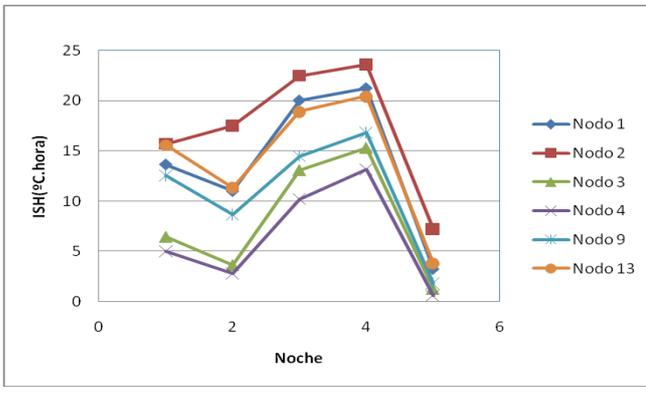


Figura 3 – Severidad de helada por noche.

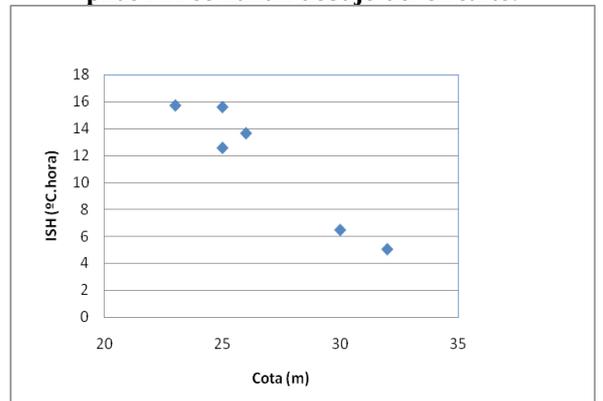


Figura 4 – ISH en función de la cota.

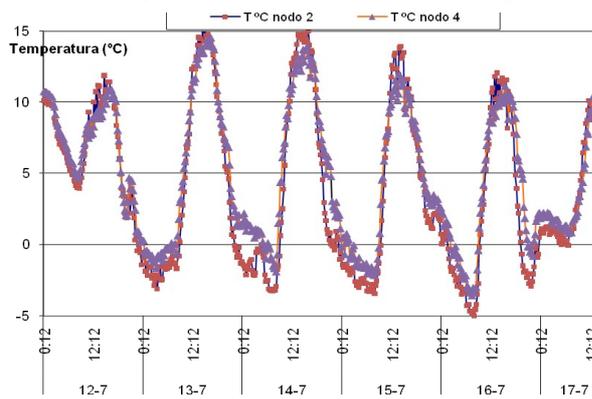


Figura 5 – Gráfica de la temperatura (nodos 2 y 4).