

## Despliegue y Depuración de Redes de Sensores Inalámbricos para Aplicaciones al Agro

P. Mazzara<sup>(1)</sup>, L. Steinfeld<sup>(1)</sup>, J. Villaverde<sup>(1)</sup>, F. Silveira<sup>(1)</sup>, G. Fierro<sup>(1)</sup>, A. Otero<sup>(2)</sup>, C. Saravia<sup>(3)</sup>, N. Barlocco<sup>(4)</sup>, P. Vergara<sup>(4)</sup>, D. Garín<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

<sup>(2)</sup> INIA Salto Grande, Salto, Uruguay

<sup>(3)</sup> Unidad de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía, Regional Norte, Universidad de la República.

<sup>(4)</sup> Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

<sup>(5)</sup> Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

**Abstract**— Las redes de sensores inalámbricos se perfilan como una de las tecnologías más apropiadas para dar soporte a los sistemas de información en la producción agropecuaria. En el presente trabajo se presenta el diseño, implementación y despliegue de estas redes en dos aplicaciones agropecuarias donde se muestra su gran potencialidad. Se propuso una metodología para depurar la red y caracterizar su consumo de energía en campo, basado en un nodo auxiliar recolector de datos (MoteSpy). Se midió el ciclo de trabajo efectivo de los nodos, resultando en 0,74%, que corresponde a una duración estimada de pilas AA de más de un año.

**Keywords**— agricultura de precisión, redes de sensores inalámbricos.

### 1. INTRODUCTION

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 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 la producción cítrica las variaciones climáticas bruscas, no previstas por las medias históricas, o las variaciones microclimáticas locales no captadas por estaciones meteorológicas alejadas, pueden dificultar la toma de decisiones para la aplicación de medidas técnicas adecuadas. La detección de heladas faculta la aplicación de medidas activas de control, si ésta es realizada en tiempo real [1], y también permite planificar un mejor uso de los diferentes predios, en los casos donde se dispone información detallada por predio. La determinación de la intensidad y duración de las heladas en función de la posición geográfica permite cuantificar, por ejemplo, su impacto en la calidad del fruto y su conservación [2].

Los métodos comunmente usados para acceder a medidas de temperatura han sido los termómetros de mínima y máxima, en consecuencia no pudiendo registrar la duración de las heladas. Por otro lado, los registradores (*dataloggers*), que miden y guardan periódicamente la

temperatura, permiten determinar la duración de las heladas, pero requieren recorrer el campo para recoger los datos y la información no se dispone en tiempo real, dificultando o imposibilitando la toma de decisiones correctivas. También existen soluciones de registradores que agregan comunicación inalámbrica directa con una estación base (via UHF por ejemplo), pero con costos muy elevados si se requieren muchos puntos de medida y con tiempo de operación limitado por su consumo energético relativamente alto. Por último existen mini-estaciones meteorológicas también con comunicación inalámbrica con una base cercana o directamente a internet (vía red celular). Pero debido a su alto costo, tener muchos puntos de medición es directamente prohibitivo.

Las redes de sensores inalámbricos presentan características que las hacen particularmente promisorias para el monitoreo ambiental, ya que permiten capturar tanto las variaciones temporales como espaciales en tiempo real y a un costo cada vez más accesible y rentable. Las redes de sensores inalámbricos están compuestas por nodos de pequeño tamaño (también denominados “motas”) que cuentan con un procesador, memoria y una radio. Los nodos tienen la capacidad de adquirir señales de varios sensores, transmitir esta información (a distancias desde decenas de metros a cientos de metros) y recibir información de configuración de la medida u otros (ej. configuración de condiciones de alarma). Por otra parte la organización de estos nodos en una malla, donde la información va pasando de un nodo a otro (red multisalto o *multihop*), permite monitorear grandes áreas a menor costo y con menor consumo, ya que la potencia de radiofrecuencia necesaria para la comunicación es significativamente menor. Por otro lado, la topología de malla permite, si un nodo falla, que automáticamente la información se trate de transferir por caminos alternativos en la red [3][4].

Una adecuada operación de la red permite autonomías de meses o de más de un año (con baterías AA alcalinas). Incluso la energía recolectada de su entorno (por ej. solar u otra) sería suficiente para funcionar por muchos años. Todo esto se da con costos del hardware en permanente disminución.

En los últimos años surgen las primeras investigaciones y experiencias pilotos de aplicación de estas redes a la producción agraria, como en viñedos en California [5]. Recientemente han aparecido en el mercado internacional las primeras redes de sensores inalámbricos específicamente orientadas al agro. Existen modelos teóricos para la estimación del tiempo de vida de una red [6], y muchas experiencias en laboratorio que las avalan. Sin embargo, algunos trabajos ya señalan que el despliegue en campo presenta dificultades no previstas en laboratorio, reduciendo la duración efectiva de una red respecto a lo previsto.

Estos problemas se deben a particularidades geográficas de la ubicación, a cambios en las condiciones de propagación electromagnética debido a condiciones climáticas cambiantes que afectan las comunicaciones entre nodos, y al cambio del rendimiento de las baterías a bajas temperaturas, solamente para mencionar algunos. Entonces es fundamental contar con herramientas que permitan depurar la red en campo para poder evaluar su operación y estimar su tiempo de vida.

Este trabajo presenta el diseño de una de estas redes, resultados de su operación en campo en más de una aplicación agronómica y las herramientas aplicadas para su depuración, apuntando particularmente a los siguientes aspectos:

- evaluar la performance de la red
- evaluar adecuación de las plataformas hardware/software a la aplicación
- verificar tiempo de vida de la red
- probar y refinar herramientas de depuración en campo

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma. La sección 2 describe dos aplicaciones agropecuarias donde fueron evaluadas las redes de sensores inalámbricos. En la sección 3 se reseñan los principales aspectos y problemas que presentan las redes de sensores inalámbricos, y se describe la red implementada. En la Sección 4 se describe la herramienta utilizada para el depurado de una red operando en campo. En la Sección 5 se presentan los resultados de las aplicaciones y de la operación de las redes. Finalmente, la sección 6 resume las principales conclusiones.

## 2. LAS APLICACIONES

Se probaron y evaluaron redes de sensores inalámbricos en dos aplicaciones agronómicas.

Por un lado se montó una red para el monitoreo de condiciones microclimáticas (temperatura y humedad, medidas cada 15 minutos) en parideras (refugios donde nacen los lechones) de cerdos de campo (plano de instalación en Fig. 1). Esta aplicación es de interés para investigaciones agronómicas en el diseño de las parideras llevadas adelante por el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República.

Por otro lado, se instaló y se mantuvo en operación una red de sensores inalámbricos en un predio citrícola para monitoreo de las condiciones climáticas y microclimáti-

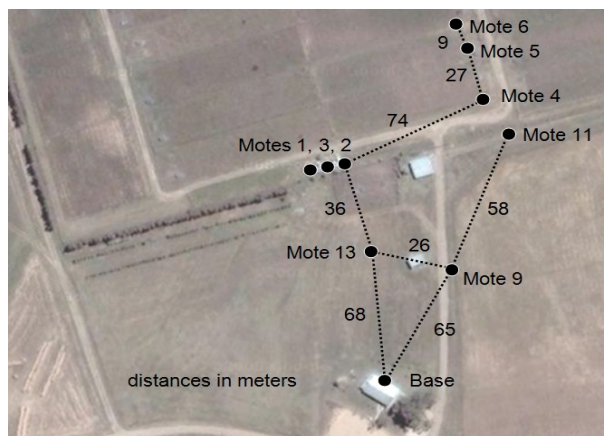


Figura 1: Mapa de aplicación parideras de cerdos de campo donde se muestra la ubicación de cada nodo.

cas (medida de temperatura cada 15 minutos) del mismo con fines tales como el control de enfermedades y la detección y cuantificación de las heladas. Se escogió la Quinta 1 de Milagro S.A. situada en Chapicuy en el departamento de Paysandú, Uruguay (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 2 se puede apreciar la topografía del predio y la ubicación dentro del mismo de los siete nodos utilizados en esta experiencia.

Con distancias de 50 a 70 metros entre nodos, se cubrió satisfactoriamente un área mayor a través de la operación "multisalto", a excepción del pasaje a través de cortinas de árboles, tema que se intenta superar actualmente utilizando radios con mayor potencia.

En este tipo de redes los datos son recolectados por un nodo base que pone los datos a disposición de los usuarios. Se estudiaron tres alternativas para este nodo base: (i) que esté conectado a un PC en el cual se almacenan los datos y, eventualmente, se hacen accesibles hacia Internet; (ii) que el mismo almacene los datos para toda la red, y (iii) que se conecte remotamente a un PC o servidor vía la red celular (utilizando un modem GPRS adicional). En la primer aplicación se utilizó la opción (i) y en la segunda la (ii). Actualmente se encuentra en fase de prueba la tercer alternativa.

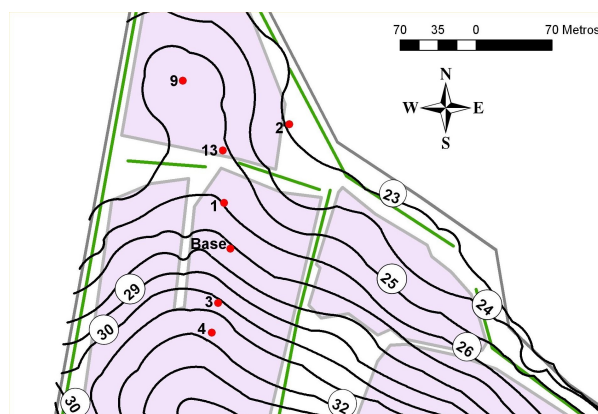


Figura 2: Mapa del predio citrícola donde se muestra la ubicación de cada nodo y la topografía.

### 3. REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS

Uno de los grandes desafíos para la adopción de las redes de sensores inalámbricos es minimizar el consumo para poder operar la red por años antes de ser necesario recambiar las baterías.

El principal método para reducir el consumo de energía de los nodos es mantener ciclos de trabajo activos muy bajos, donde cada nodo permanece la mayor parte del tiempo en un estado de muy bajo consumo (*sleep*). Es decisivo para el ciclo de trabajo efectivo el mecanismo por el cual los transmisores y receptores coordinan su comunicación.

En los protocolos de escucha de bajo consumo (LPL, *Low Power Listening*), tales como B-MAC [6], el nodo receptor muestrea el canal a la espera de una transmisión. El nodo transmisor, antes de transmitir el mensaje, transmite un preámbulo de mayor duración que el período de muestreo, de esa manera se asegura la comunicación. Luego, se propuso un protocolo, WiseMAC [7], para reducir el preámbulo mediante el intento de sincronización con los nodos vecinos. Finalmente, basados en las ideas anteriores los nodos mantienen sincronismo local con sus vecinos de tal manera que la transmisión de preámbulos largos son evitados [8], obteniendo una reducción de hasta 70% respecto a LPL. A este protocolo se le denomina protocolo de escucha de bajo consumo sincronizado (SLPL, *Synchronized Low Power Listening*). Qué tan bajo sea el ciclo de trabajo efectivo depende, en primer lugar, del grado de sincronismo entre transmisores y receptores, el cual está relacionado con derivas de los osciladores en cada nodo [9]. En segundo lugar, dependerá de mantener la coordinación entre nodos, ya que en caso de pérdida de sincronismo se deberá realizar un ciclo de resincronización de tipo LPL, incrementando el tiempo en activo. Siendo el tiempo de escucha acotado, ciclos de trabajo muy bajos conllevan a tiempos inactivos muy largos (de muchos segundos o incluso minutos) repercutiendo en la latencia y en los tiempos de respuesta de la red. Se han reportado medidas de nodos en operación con ciclos de trabajo tan bajos como 1% y 2% con tiempos inactivos de un segundo aproximadamente [8].

En nuestra implementación se utilizó la pila (stack) de comunicación SNPK<sup>1</sup> que implementa el protocolo SLPL [8]. En la sección 4 se muestra como nuestra implementación operando en campo presenta ciclos de trabajo efectivos de 0,74% que redundan en una duración estimada de las baterías AA usadas de más de 12 meses. Las redes implementadas utilizaron nodos comerciales (TelosB [10]). La adaptación de los sensores utilizados a estos nodos y el programa que controla su operación fueron desarrollados por el equipo del proyecto. Asimismo los nodos y los sensores fueron acondicionados físicamente para su utilización a la intemperie (Fig. 3). El software fue desarrollado utilizando el sistema operativo abierto TinyOS 2.1 [11] junto a la pila de comuni-

1 Disponible en: <http://tinysos.cvs.sourceforge.net/viewvc/tinysos/tinysos-2.x-contrib/ethz/snpk>.

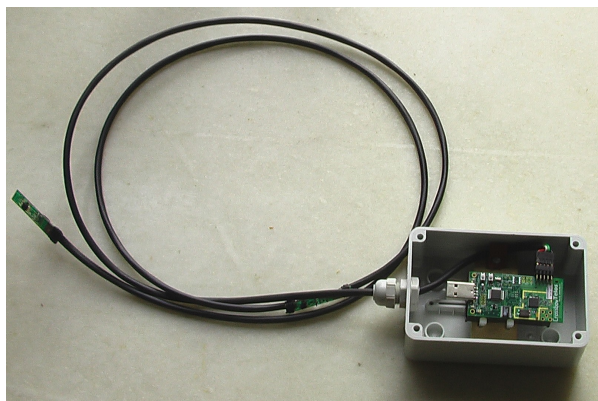


Figura 3: Nodo de red de sensores inalámbricos en su caja estanca con dos sensores conectados. cación SNPK. Los parámetros de configuración utilizados para red fueron: 2 s el período de *sleep* del protocolo (*lplSleepInterval*), envío de paquetes de topología de la red cada 92 s y 900 s (15 min) de período para muestreo de datos.

### 4. HERRAMIENTA DE DEPURADO DE LA RED

La primer fuente de información para evaluar la operación de una red proviene directamente de datos suministrados por la propia red, como ser tensión de batería de los nodos, información de topología, etc., así como datos estadísticos asociados, tales como tasa de pérdida de paquetes.

Estos datos son útiles para una primera evaluación, llegando incluso a poder realizar una estimación primaria del tiempo de vida analizando la evolución de la tensión de las baterías de los nodos. Sin embargo, a partir de estos datos no es posible obtener información del consumo para determinar, por ejemplo, la causa de consumos superiores a los esperados.

Tal como fuera mencionado anteriormente, el consumo efectivo depende fuertemente del ciclo de trabajo real. Por otro lado, el ciclo de trabajo real de cada nodo depende de los parámetros de configuración de la red, del tráfico generado por los mismos y la topología. Esta última varía en el tiempo, por ejemplo debido a cambios en la calidad del enlace, variando la carga de comunicación sobre los nodos y por ende haciendo difícil una predicción de la actividad de cada nodo. Por ello es esencial contar con una herramienta que permita, además de verificar que las transiciones de estados de la radio son correctas, medir el tiempo transcurrido en cada estado para poder calcular el ciclo de trabajo actual. A partir de la actividad relevada de un nodo en la red desplegada es posible detectar si el nodo tiene comportamientos inesperados debido a errores de diseño en los protocolos.

Se han propuesto muchas metodologías y herramientas para monitorear el consumo de corriente o energía. Algunas de ellas no requieren modificar el software del nodo pero sí modifican el hardware para permitir la medida de consumo mediante un equipo independiente. Otros enfoques modifican el software tratando de

perturbar lo menos posible la operación normal del nodo. Esto puede ser realizado mediante el manejo de una señal digital para indicar el estado del nodo y registrar el consumo de corriente (energía) o el tiempo transcurrido entre estados. La información extraída abarca desde un detallado perfil de corriente obtenido por el muestreo a muy alta frecuencia, a promedios de tiempo para cada estado de la radio.

Las herramientas previamente mencionadas son complementarias ya que son útiles en diferentes etapas de desarrollo. PowerBench [12]—que registra corrientes consumidas— ha determinado que estimaciones basadas en medidas de tiempo coinciden, dentro de algunos puntos porcentuales, con medidas reales de consumo. Dunkel et al. [13] siguen el enfoque anterior donde los propios nodos miden el tiempo en que la radio permanece en cada estado. El nodo lleva registro de estos tiempos acumulando por estados. Luego los tiempos totales son multiplicados por valores de corriente obtenidos en laboratorio, estimando la carga total consumida.

Nuestra propuesta siguió una metodología no intrusiva en dos etapas.

Primero se caracteriza en laboratorio el consumo de un mote en los diferentes estados, utilizando una resistencia en serie con la alimentación, un amplificador de bajo ruido y un osciloscopio.

Luego, la actividad de un nodo en campo es registrada por un dispositivo, MoteSpy [14], guardando la secuencia de estados y los tiempos en cada estado del nodo. Para ello es necesario modificar el software del nodo a testear para que el módulo de comunicación maneje un puerto de salida digital indicando el estado de la radio. Este es conectado a un puerto de entrada del MoteSpy para registrar el instante de tiempo de los eventos señalados por el nodo. Estos son guardados adecuadamente (hasta 1MB de datos en Flash) para luego ser recuperados y analizados. Esta metodología se utilizó en una red en operación, permitiendo medir el ciclo de trabajo efectivo de un nodo y calcular su tiempo de vida y detectar desincronizaciones ocurridas entre

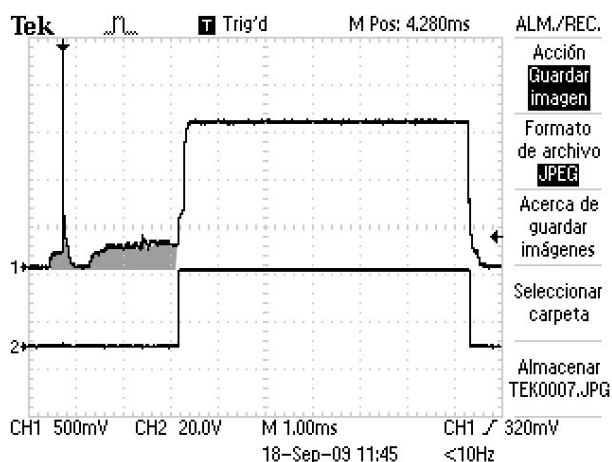


Figura 4: Captura del osciloscopio mostrando la tensión proporcional al consumo de nodo (canal 1) y la señal digital que indica cuando la radio está encendida (2).

los nodos, evaluando el impacto que esto tiene en el consumo.

La Figura 4 muestra una captura del osciloscopio, donde puede observarse la tensión, que es proporcional al consumo del nodo, y la señal digital que indica cuando la radio está encendida. La carga consumida por la radio entre que se enciende su regulador de voltaje y se pasa a recepción es aproximadamente constante y también se tuvo en cuenta (en la Fig. 4 corresponde al área bajo la curva indicada en gris).

Nuestro método provee más información que la provista por [13] ya que se guardan registros históricos con datos temporales de cada cambio de estado. Eso se logró realizando una pequeña modificación al software del nodo, sin modificar el hardware propio, y agregando un hardware simple para el monitoreo.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Resultados de las aplicaciones

Ambas aplicaciones se probaron con una red en operación durante aproximadamente 3 meses.

A los efectos de ilustrar acerca de la utilidad y potencialidad de la red diseñada, se presentan a continuación algunos resultados de la aplicación a cítricos.

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 5 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 logra captar la influencia de la topografía

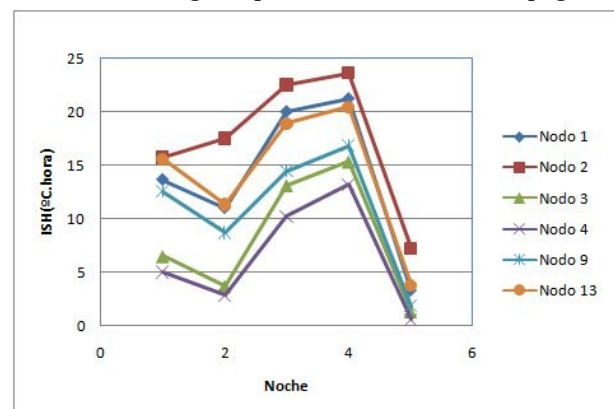


Figura 5: Severidad de helada por noche.

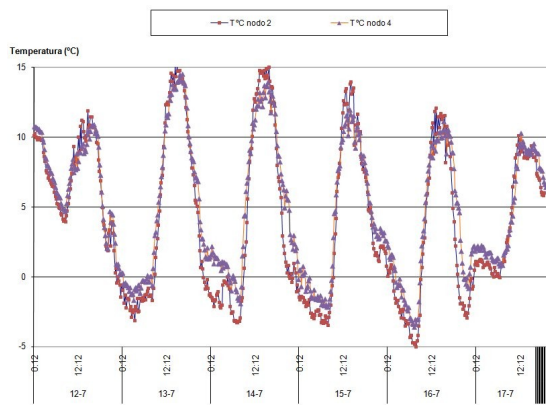


Figura 6: Gráfica de la temperatura (nodos 2 y 4)

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.

Es interesante también observar la variación de la temperatura a lo largo del día. La Figura 6 gráfica 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).

## 5.2. Operación, consumo de energía y tiempo de vida de la red

La red operó satisfactoriamente. Como indicador de ello, la Tabla 1 muestra la tasa de pérdida de paquetes medida en base a los paquetes de topología enviados por los nodos en la primera aplicación. Estos resultados son razonables en base de los siguientes datos. El protocolo de recolección de datos utilizado (CTP, Collection Tree Protocol) [15] utiliza estimadores de la calidad de los enlaces para optimizar el enrutamiento de los paquetes. Como usa una política de mejor esfuerzo, no se asegura que los paquetes se entreguen a destino en todos los casos. En el trabajo [15] se afirma que entrega más del 90% de los paquetes de extremo a extremo y que muchos experimentos llegaron a un 99,9%. Por otra parte, las tasas de pérdida de paquetes en nuestra aplicación son comparables a los reportados en [15] para una red analizada en laboratorio operando por 30

Tabla 1. Tasa de pérdida de paquetes por nodo.

Nodo	Tasa de pérdida de paquetes (%)
1	3,1
2	3,9
3	3,6
4	7,3
5	3,3
6	6,6
9	3,0
11	3,4
13	3,3

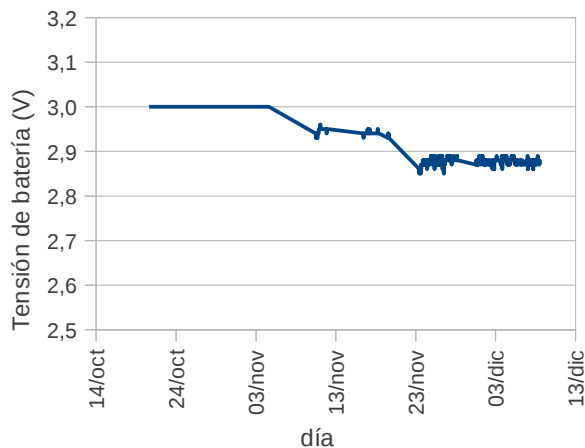


Figura 7: Evolución de la tensión de batería del nodo.

minutos y con ciclos de trabajo superior al 1%.

En lo referente al consumo de energía, el uso de la herramienta de depuración en un nodo de la red en la primera aplicación (nodo 9, Fig. 1) para registrar su actividad mostró que el ciclo de trabajo efectivo de la radio fue de 0,74%. Este ciclo de trabajo se desglosa en: 0,27% debido al muestreo del canal de duración aproximada 6 ms; 0,16% en períodos de entre 12 y 16 ms en los cuales la radio transmitió o recibió datos (propios o de otros nodos para reenviar) y finalmente 0,31% debido a períodos donde la radio permanecía encendida hasta el final del período de escucha debido a pérdida de sincronización con sus vecinos (3 veces por 2019 ms y una vez durante 866 ms). Si se usa el dato del ciclo de trabajo efectivo para calcular el consumo total, se llega a que la evolución de la tensión de las baterías está en concordancia con los valores previstos por el fabricante [16] (ver Fig. 7).

Finalmente, basándonos en las curvas de descarga de las baterías [16] el tiempo de vida estimado por extrapolación es de orden de más de un año para baterías alcalinas de 2500mAh, utilizadas hasta una tensión 1,8 V donde el nodo deja de estar operativo.

## 6. CONCLUSIONES

Se presentó el diseño, prueba y caracterización en campo de redes de sensores inalámbricos en dos aplicaciones agronómicas. Los resultados obtenidos muestran la potencialidad de estas redes para este tipo de aplicaciones. Por otra parte se presentó una metodología para depurar la red y caracterizar su consumo de energía en campo, basado en un nodo auxiliar recolector de datos (MoteSpy). Su aplicación permitió mostrar que se alcanzó un ciclo de trabajo efectivo de los nodos del 0,74%, que corresponde a una duración estimada de dos pilas AA de más de una año. Este ciclo de trabajo tiene una contribución del 0,31% originada en los tiempos de escucha y transmisión vinculados a la desincronización entre vecinos de la red.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo de los proyectos PDT 69/08 (WiseMAN) e INIA FPTA 280 (Simpa).

### REFERENCES

- [1] Parsons L. R. and Boman B. J. , 2003. Microsprinkler Irrigation for Cold Protection Florida Citrus, Fact Sheet HS-931, University of Florida.
- [2] Slaughter D.C. et al., 2008. Non-destructive freeze damage detection in oranges using machine vision and ultraviolet fluorescence, *Postharvest Biology and Technology*, Vol 48, Issue 3, pp. 341-346.
- [3] Pottie G.J., 1998. Wireless sensor networks, *Information Theory Workshop*, vol., no., pp.139-140, 22-26.
- [4] Culler D., Estrin D., Srivastava M., 2004. Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks, *Computer* , vol.37, no.8, pp. 41-49.
- [5] 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.
- [6] Polastre J, Hill J and Culler D 2004 Versatile low power media access for wireless sensor networks *Proceedings of the 2nd international Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Baltimore, MD, USA, November 03 - 05) SenSys '04 (ACM, New York, NY) pp 95-107 .*
- [7] El-Hoiydi A. and Decotignie J.D. 2004 WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for Multi-hop Wireless Sensor Networks, *Algorithmic aspects of wireless sensor networks: first international workshop (ALGOSENSORS 2004)(Springer)pp. 18-31.*
- [8] Lim R, Woehrle M, Meier A and Beutel J 2009 Harvester - Energy Savings Through Synchronized Low-power Listening Proc. 6th European Workshop on Sensor Networks (EWSN 2009)( Springer, Cork, Ireland) pp 29-30.
- [9] Sundararaman B, Buy U, and Kshemkalyani A 2005 Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey *Ad Hoc Networks* 3(3) pp 281-323.
- [10] TelosB, 2010. MEMSIC.  
<http://memsic.com/products/wireless-sensor-networks/wireless-modules.html>. Consulta: junio 2011.
- [11] TinyOS, 2010. <http://www.tinyos.net>, Consulta: junio 2011.
- [12] Haratcherev I, Halkes G, Parker T, Visser O and Langendoen K 2008 PowerBench: A scalable testbed infrastructure for benchmarking power consumption *Int. Workshop on Sensor Network Engineering (IWSNE)*, pp 37-44
- [13] Dunkels A, Osterlind F, Tsiftes N, and He Z 2007 Software-based on-line energy estimation for sensor nodes *Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors (Cork, Ireland, June 25 - 26, 2007) EmNets '07 (ACM, New York, NY) pp 28-32*
- [14] Mazzara P., Steinfeld L., Silveira F., Villaverde J., Herramienta para depuración de redes de sensores inalámbricos. Congreso Argentino de Sistemas Embebidos (CASE), Buenos Aires, Argentina. Libro de Trabajos, 2011.
- [15] Gnawali O, Fonseca R, Jamieson K, Moss D and Levis P 2009 Collection Tree Protocol *Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (ACM, New York, NY) pp 1-14.*
- [16] Energizer Holdings Inc., Energizer E91 Datasheet, available at [www.energizer.com](http://www.energizer.com)