

NUEVAS TENDENCIAS DE TECNOLOGÍAS DE SENSORES INALÁMBRICAS PARA LA MEJORA PRODUCTIVA DE CULTIVOS AGRÍCOLAS

Roberto Fernández Martínez

Alpha Verónica Pernía Espinoza

Andrés Sanz García

Jesús Las Heras Casas

Universidad de la Rioja

Javier Alfonso Cendón

Universidad de Leon

Abstract

In recent years, wireless technology has revolutionized the way to see and understand communications, removing restrictions and giving more flexibility when it comes to implant a network. Thanks to this technological evolution different types of wireless sensor networks (WSN) have been developed in order to make possible to get data in almost any localization. These networks are made up of wireless nodes that allow them to capture in a constant way diverse measures through different types of sensors and transmit them wirelessly until a central node.

One of the applications where is possible to get more profits using WSNs, is precision agriculture. Real time monitoring in agricultural crops is a huge help to their managers, because it is possible to study some measures of different locations from a position in an office, without the necessity of wiring a system through a property and also, avoiding possible adverse environmental conditions. Thanks to this distributed system of sensors, a reliable system with a simple infrastructure and a low cost that allows obtaining required data by the farmer in a fixed area is obtained.

Keywords: *wireless sensor networks (WSN), precision agriculture, agricultural crops*

Resumen

En los últimos años, la tecnología inalámbrica ha revolucionado la manera de ver y entender las comunicaciones, eliminando restricciones y dando más flexibilidad a la hora de implantar una red. Gracias a esta evolución tecnológica se han desarrollado diferentes tipos de redes de sensores inalámbricas (WSN) que hacen posible la captación de datos en casi cualquier localización. Estas redes están compuestas de nodos inalámbricos que permiten captar de manera constante diversas medidas a través de diferentes tipos de sensores y transmitirlos inalámbricamente hasta un nodo central.

Una de las aplicaciones donde más utilidad se encuentra para estas WSNs es la agricultura de precisión. En la monitorización en tiempo real de explotaciones agrícolas se obtiene un enorme beneficio potencial para el responsable del cultivo, ya que es posible estudiar desde un puesto en una oficina, medidas de diferentes puntos del cultivo sin necesidad de cablear un sistema a través de una finca y evitando además, las posibles condiciones ambientales

adversas. Se consigue un sistema fiable, con una infraestructura simple y de bajo coste, que permite obtener los datos requeridos por el agricultor en un área determinada, con un sistema distribuido de sensores.

Palabras clave: *redes de sensores inalámbricas, agricultura de precisión, cultivos agrícolas*

1. Introducción

La monitorización de explotaciones agrícolas representa una aplicación en la que las redes inalámbricas de sensores (WSN) tienen un enorme beneficio potencial. Mediante estas redes es posible recoger datos de amplios espacios naturales a través de numerosos microsensores, transmitiendo las mediciones obtenidas en las diferentes localizaciones a través de los dispositivos de la red a lo largo de grandes distancias, hasta una localización central donde son almacenados.

Estos sistemas son estables ante posibles condiciones ambientales adversas y disponen también de una autonomía elevada, lo que les permite realizar las mediciones de forma continuada en tiempo real. Además, hoy en día casi cualquier magnitud puede ser medida por un sensor, ya que cada vez son más los tipos de sensores existentes y los que pueden ser utilizados en estos dispositivos, disponiendo en unas reducidas dimensiones, unos rangos de medida muy elevados y con gran precisión.

Gracias al uso de este tipo de nuevas tecnologías que permiten optimizar la producción en el entorno agrícola sin alterar sus condiciones, se definió el concepto de agricultura de precisión (Blackmore, 1994). No solo la obtención de datos a través de WSN forman este concepto, sino conjuntamente también con el uso de otras técnicas como el uso de sistemas de posicionamiento global y el uso de imágenes aéreas o de satélites dentro de sistemas de información geográficos (GIS, Geographic Information System).

El crecimiento del mercado que ayuda a realizar una agricultura de precisión está desarrollándose de una forma rapidísima. Esto hace que existan más formas diferentes de monitorizar un cultivo y con ello contribuir a la mejora de la producción y de la calidad del cultivo. De todas ellas podemos destacar las WSN ya que recogen las medidas directamente desde el terreno, sin necesidad de desplazarse a él y evitando la utilización de imágenes de satélite que pueden engañar la percepción.

El uso de WSN permite realizar monitorizaciones medioambientales inatendidas y dinámicas siempre que se tengan en cuenta ciertos factores como la robustez del sistema, el control de la energía, etc., para hacer que éstas funcionen correctamente. Y una vez el sistema está realizando la captación de datos correctamente, éste puede funcionar como una simple monitorización donde se muestran los datos recogidos o puede ir más allá detectando situaciones extrañas, controlando actuadores o generando información útil previamente desconocida.

Los escenarios agrícolas eran los más reticentes a usar las nuevas tecnologías, ya que la gente piensa que el trabajo que conlleva utilizarlas no es retribuido con soluciones claras. Con el desarrollo de nuevos sensores y la utilización de WSNs, que permiten una vez instaladas, gestionar la información desde cualquier sitio, ya no puede utilizarse esta disculpa. Aplicaciones como el control de la irrigación y el uso de fertilizantes y pesticidas, pueden ser apoyados por los datos recogidos por una WSN instalada sobre el cultivo. Esto no solo puede representar una mayor productividad y calidad del cultivo sino ahorro de recursos tales como agua, fertilizantes, pesticidas y energía.

Un ejemplo claro es la monitorización de humedades y temperaturas en un cultivo como puede ser un viñedo. La mayoría de las plagas y enfermedades que aparecen en un viñedo están ampliamente relacionadas con estas variables y con los niveles que se presentan en la planta. Utilizando una WSN se pueden monitorizar estas variables instalando varios sensores en diferentes puntos del viñedo. La realización de esta instalación no necesita de cableado, por lo que no molesta ni perjudica los tratamientos que recibe el viñedo durante su periodo vegetativo. Tampoco es necesaria una conexión para recibir energía ya que disponen de su propia alimentación.

2. Factores que afectan al diseño de una WSN

A la hora de diseñar e implementar una WSN hay que tener en cuenta diferentes factores que pueden ser determinantes para el correcto funcionamiento de la aplicación (Akyildiz & Su, 2002).

2.1 Autoconfiguración (Self-configuration)

Una característica importante de las WSN y que les otorga un valor añadido, es que permiten situar un nodo dentro de la red una vez ya implantada o mientras se está implantando, sin necesidad de hacer cambios dentro del sistema. Para poder usar esta autoconfiguración se utilizan diferentes algoritmos que mejoran la integración y evitan la redundancia (Bulusu et al., 2001).

La importancia de este factor se ve incrementada cuando los nodos que componen la red son móviles y forman parte de una MANET (Mobile Ad hoc NETWORKS) (Hortos, 2006).

2.2 Consumo de energía (Power consumption)

En las redes de sensores, tener en cuenta el consumo de energía es realmente importante, sobre todo si queremos que los periodos de vida de los dispositivos sean máximos. Puesto que los nodos de nuestra red no estarán conectados a una red eléctrica y su funcionamiento se basa en la utilización de baterías principalmente, se debe intentar reducir y optimizar el consumo de energía dentro del nodo (Kori et al., 2009; Li, Zeng & Liang, 2009). A pesar de esto, es importante conocer cuanto tiempo estará nuestro nodo alimentado correctamente y cuando dejará de funcionar.

Es muy importante diseñar unos protocolos (MAC, encaminamiento) eficientes, con la finalidad de mejorar el rendimiento y prolongar la autonomía de las baterías.

2.3 Coste de implantación (Implementation costs)

Al diferenciar entre redes cableadas y redes inalámbricas hay que tener en cuenta el precio de implantar cada uno de los dos tipos. Cada tipo tiene unas connotaciones que le llevan a tener su mercado y cuando más hacia un extremo se tiende, mayor es la diferencia del coste de implantación. El coste de un solo nodo inalámbrico es más caro que uno cableado, pero la verdadera ventaja del sistema inalámbrico surge cuando existe una dificultad a la hora de llevar un cableado a un determinado sitio, situación que puede hacer que el precio se dispare.

En el artículo escrito por Burgess et al. (2010) podemos ver una comparativa de costes entre redes inalámbricas y cableadas para una aplicación agrícola que utilice 16 sensores. En este ejemplo, el precio está muy influenciado por los sensores utilizados, reduciéndose la diferencia si no se tiene en cuenta este elemento. El arreglo de las posibles averías en el cableado significa un coste añadido que no existe dentro de las WSN y no está integrado en la tabla 1.

Tabla 1: Comparativa de costes en la instalación de una red en una aplicación agraria según Burgess et al (2010)

Red cableada		Red inalámbrica	
Elemento	Coste (Euros)	Elemento	Coste (Euros)
Ordenador de enlace	265	Gateway	530
Datalogger	1650	Nodos de la red	66*16
Multiplexor	660*2	Placas conectoras	100*16
Dispositivos de protección	100*3	Dispositivos de protección	10*16
Alimentación (paneles solares)	265	Alimentación (paneles solares)	23*16
Baterías	66	Baterías	10*16
Cableado	66	Antena	33*16
Sensores	265*16	Sensores	462*16
Total	9162	Total	11794
Total por sensor	572.62	Total por sensor	737.12

2.4 Entorno (Environment)

Muchos de los nodos deben sobrevivir en ambientes difíciles, soportando golpes, polvo, agua, altas temperaturas,... y para que soporten estos ambientes es importante que dispongan de dispositivos de protección.

2.5 Escalabilidad (Scalability)

En algunos tipos de redes, y dependiendo de la aplicación en la que será usada la red, el número de nodos puede crecer hasta llegar a varios miles. Una característica importante de la configuración de este tipo de redes es poder gestionar la información sin producir un colapso en la red (Shen et al, 2009). Cuanto mayor es el número de nodos, mayor es la información que los demás nodos deben retransmitir y puede llegar un momento en que los nodos más cercanos a las puertas de enlace puedan fallar debido a la gran cantidad de información que deben transmitir.

2.6 Limitaciones de hardware (Hardware constraints)

Hoy en día, los nodos inalámbricos de reducidas dimensiones disponen de la capacidad necesaria para captar datos de un sensor y transmitirlos por la red sin ningún tipo de problema, aunque con dos importantes limitaciones. La primera, es la existencia de sensores adecuados para la aplicación que sean adaptables al nodo. Y la segunda, el consumo de energía. Puesto que los nodos son independientes y se sitúan sobre localizaciones donde no se dispone de una fuente constante de energía, éstos deben tener una fuente que permita aportar al dispositivo la energía necesaria.

Ante estas limitaciones hay que decir que se está investigando y generando soluciones, lo que lleva a que cada día se encuentren más sensores adecuados y más sistemas de alimentación para los nodos.

2.7 Medio de transmisión (Transmisión media)

La comunicación se realiza inalámbricamente, usando la mayoría de dispositivos el conjunto de protocolos de comunicación de bajo consumo llamado ZigBee. ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 y utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto, 868 MHz en Europa, 915 en Estados Unidos y 2.4 GHz en todo el mundo. Sin

embargo, a la hora de diseñar dispositivos, las empresas optan prácticamente siempre por la banda de 2.4 GHz, por ser libre en todo el mundo.

2.8 Tolerancia a fallos (Fault tolerance)

Los nodos que componen la red son energéticamente dependientes, lo que puede provocar que en algún momento se queden sin suministro eléctrico, y por lo tanto, dejen de funcionar. También, la mayoría de ellos están expuestos a condiciones ambientales externas que pueden ser adversas y provocar un fallo en el nodo. Ante éstas y otras causas que provocan el fallo de un nodo, el sistema tiene que ser tolerante a fallos (Thein, Lee & Park, 2009; Ghaffari & Rahmani, 2008). Cuando un nodo falla, solo debe verse perjudicada la información que ese nodo recoge a través de los sensores y no la información que éste debe retransmitir. Para evitar esto, los nodos deben ser lo suficientemente inteligentes como para saber que el nodo al que se manda la información está fallando y que debe buscar otro camino para enviar la información.

2.9 Topología de la red (Network topology)

Dependiendo de la topología de la red, los nodos pueden funcionar de varias maneras. Hay nodos que interesa más que transmitan información, otros que capten datos de los sensores, otros que solo procesen información,... Ya que la red puede estar compuesta por un gran número de nodos es importante saber que topología es la más adecuada, y adaptar los nodos para que puedan funcionar correctamente dentro de esa topología. Siendo importante el rol de cada nodo en la red y los protocolos de transmisión de información que están utilizándose (Al-Karaki & Kamal, 2004).

2.10 Seguridad (Security)

Todas las redes inalámbricas son vulnerables a ataques, y especialmente las redes ad-hoc. Se pueden realizar ataques pasivos o activos, emulando uno de los nodos para capturar paquetes de datos y control, destruir tablas de encaminamiento,... y cada día están apareciendo nuevos algoritmos que evitan estos ataques (Ashraf et al., 2009).

3. Componentes de una WSN para su utilización en una aplicación agrícola

Una WSN está compuesta por nodos inalámbricos que utilizan sensores para captar la información que hay en su entorno. Transmitiendo la información por la red hasta una puerta de enlace conectada a una antena receptora, que recoge los datos. Una selección de diferentes elementos que podemos encontrar para implantar una WSN en un entorno agrícola son los siguientes.

3.1 Nodos sensores

Son pequeños dispositivos electrónicos capaces de captar información proveniente del entorno en el que se encuentran, procesarla y transmitirla inalámbricamente hacia otro destinatario. En estos elementos es donde están conectados los diferentes sensores que son los encargados de recoger la información necesaria del entorno.

Tabla 2: Relación de varios de los nodos sensores más adecuados para una aplicación agraria que pueden encontrarse en el mercado

Modelo	Microprocesador	Consumo ON (mA)	Banda de trabajo (GHz)
Waspote	ATmega128L	9	2.4
Micaz	ATmega128L	8	2.4
Imote2	PXA271 XScale	44	2.4
Eko	ATmega1281	8	2.4

3.2 Receptores gateway

Son los dispositivos encargados de recibir la información de la red de sensores y conectarla a una red de datos (por ejemplo: TCP/IP). Está compuesto de un nodo especial sin elemento sensor, cuyo objetivo es actuar como puente entre dos redes de diferente tipo.

Tabla 3: Relación de varios de los receptores gateway más adecuados para una aplicación agraria que pueden encontrarse en el mercado

Modelo	Procesador	Memoria	Disco duro
NB100 Stargate NetBridge	Intel IXP420 XScale	8MB FLASH 32MB RAM	2GB USB 2.0
Meshlium	Processor 500MHz (x86)	256MB RAM	8GB - 32GB

3.3 Antenas

Como la mayoría de dispositivos de recepción de datos se encuentran en lugares interiores, para poder recibir la información se utilizan antenas exteriores que puedan captar la señal. Se usan antenas con una mayor ganancia que las suministradas de serie por los fabricantes de gateways, que cumplen la norma 802.11b con 2 dBi.

Principalmente hay dos tipos de antenas, omnidireccionales que abarcan una cobertura de 360° y direccionales que cubren un ángulo de unos 80°.

Tabla 4: Relación de varias de las antenas más adecuadas para una aplicación agraria que pueden encontrarse en el mercado

Modelo	Ganancia (dBi)	Banda de trabajo (GHz)	Tipo
HAO9SIP Outdoor Hi-Gain 9dBi Omni-Directional Wireless Antenna	9	2.4	Omnidireccional
HAO15SIP Hi-Gain 15dBi Outdoor Omni-Directional Antenna	15	2.4	Omnidireccional
HAO9SDP Hi-Gain 9dBi Outdoor Directional Antenna	9	2.4	Direccional
HAO14SDP Hi-Gain 14dBi Outdoor Directional Antenna	14	2.4	Direccional

Las antenas no pueden situarse en cualquier lugar ya que deben conectarse mediante cables, y aunque éstos sean cables de baja pérdida preparados para minimizar la degradación de la señal, tienen una pérdida de dBi relacionada con su longitud que debe ser atendida.

Tabla 5: Pérdida que aparece en los cables según su longitud

Tipo de cable	Pérdida por metro (dBi/m)
HDF400	0.26
RG316	2.50
ULA198	0.82

3.4 Sensores

Multitud de sensores con posibilidad de ser usados por nodos de este tipo de redes están siendo desarrollados y utilizados en prácticas reales. Muchos de ellos para controlar diferentes plantaciones agrícolas monitorizando las características más importantes que afecten a éstas.

3.4.1 Humedad y cantidad de agua en el suelo

La agricultura en muchas zonas tiene como característica limitante la lluvia caída, estando ésta relacionada con la cantidad de agua almacenada en el suelo a disposición de las plantas, sobre todo en zonas donde es imposible la irrigación. Esta característica puede medirse como humedad del suelo o como cantidad de agua en el suelo, y es un parámetro importante que puede llegar a indicar el éxito o fracaso del cultivo (Cardenas-Lailhacar & Dukes, 2010).

En muchos casos es útil conocer estos valores. Hay cultivos que pueden ser irrigados y estos niveles indican donde y cuando hacerlo. Otros cultivos cumplen mejores condiciones de siembra cuando estos niveles están entre unos determinados valores. En otros casos el crecimiento del cultivo se relaciona con estos niveles.

Tabla 6: Relación de varios de los sensores más adecuados para una aplicación agraria que pueden encontrarse en el mercado

Modelo	Medida	Funcionamiento	Precisión
ECH ₂ O EC-5	Medidor volumétrico de agua.	A través de la constante dieléctrica o permisividad del material en el que está embebido	±3%
Watermark 6440	Humedad del suelo	Bajo el principio de la resistencia eléctrica variable	1 cb (centibar)
Watermark 6470	Temperatura del suelo	Termistor de precisión	±0.5 °C
Campbell 108-L	Temperatura del suelo	Termistor de precisión	±0.2 °C
Sencera 808H5V5	Humedad ambiente	Sensor capacitivo de polímero	≤ ± 4%
Decagon RH	Humedad ambiente	Sensor capacitivo	± 2%
MCP9700A	Temperatura ambiente	Termistor de bajo consumo	± 2°C
MPXAZ6115A	Presión atmosférica	Sensor de presión piezoresistivo	1,5%
6450 Solar Radiation Sensor	Radiación solar	Sensor a partir de fotodiodo de silicio	± 5%
TGS2611	Nivel de CO ₂	Sensor del gas LP	±6%
TGS2611	Nivel de Metano	Sensor del gas LP	±6%

3.4.2 Temperatura del suelo

La temperatura del suelo se mide ya que afecta a multitud de cultivos en diferentes etapas de su desarrollo. En la fecha de siembra, en el crecimiento de la planta, en la rapidez de desarrollo, en los microorganismos del suelo (Munoz et al., 2009),...

3.4.3 Humedad ambiente

Conocer la humedad ambiente ayuda a conocer como los cultivos están realizando la transpiración. Ya que la realización de esta transpiración influye en la manera en que la

planta absorbe agua y nutrientes desde el suelo. Además en la transpiración la planta se refresca consiguiendo que su temperatura se reduzca.

También es interesante conocer la humedad ambiente en casos de aparición y transmisión de enfermedades.

3.4.4 Temperatura ambiente

La variabilidad climática, especialmente en lo que se refiere a temperatura y precipitaciones, genera la mayor parte de las fluctuaciones interanuales en el comportamiento y rendimiento final de los cultivos de ciclo anual. Hay una gran variación en el resultado final del cultivo según si la climatología durante su ciclo ha sido calurosa o fría ya que los procesos fisiológicos que se efectúan en una planta, como pueden ser la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento responden de forma distinta a diferentes temperaturas.

Para un correcto crecimiento del cultivo, todas las plantas para completar su ciclo vegetativo deben acumular cierto número de grados de temperatura durante este periodo.

3.4.5 Presión atmosférica

La presión atmosférica se mide para relacionarla con la cantidad de agua disponible en el suelo, ya que el potencial hídrico varía dependiendo de la presión atmosférica existente.

Además es un factor que puede determinar otras variables como la altitud del cultivo, la cantidad y velocidad del aire y la temperatura del aire en capas altas de la atmósfera sobre el cultivo.

3.4.6 Radiación solar

La cantidad de radiación solar es uno de los factores más significativos a la hora de realizar la fotosíntesis. Está comprobado que la cantidad de radiación acumulada por el cultivo durante su ciclo vegetativo es influyente en el crecimiento de la planta y en la maduración del fruto.

3.4.7 CO₂ (Dióxido de carbono)

Podemos decir que la realización de la fotosíntesis es la transformación de energía radiante en energía química mediante la asimilación del carbono del CO₂ del aire y su fijación en compuestos orgánicos carbonados.

Además, la emisión de CO₂ que se relaciona con la respiración del suelo, puede determinar que tipo de fertilizantes se aplicarán en el cultivo ya que la aplicación de éstos sobre el suelo es uno de los principales factores que influyen en la emisión (Ajwa & Tabatabai, 1994). Elegir los fertilizantes adecuados ayuda a reducir el fenómeno conocido como efecto invernadero, que reduce la emisión de calor al espacio y provoca un mayor calentamiento del planeta.

3.4.8 CH₄ (Metano)

El metano se produce en procesos de descomposición anaerobia en multitud de cultivos. Como es uno de los elementos que influye ampliamente en el calentamiento global de la atmósfera es interesante su medición en los cultivos para luchar contra estos efectos.

4. Caso práctico de utilización de una WSN en una aplicación agrícola

Una de las enfermedades más famosas y conocidas que puede afectar a la vid es el mildiu. Si las condiciones son favorables para el desarrollo de la enfermedad, ésta puede atacar a todos los órganos verdes de la vid, provocando pérdidas elevadas de la cosecha.

Esta enfermedad está provocada por el hongo *Plasmopara viticola*, que aparece en regiones con clima cálido y húmedo. Para los racimos es especialmente peligroso entre la floración y el cuajado, si durante este periodo el tiempo es húmedo y las temperaturas benignas, pudiendo perderse gran cantidad de la cosecha.

Siempre, para que surja la enfermedad, tiene que darse el hecho de que en invierno el hongo se conserve en forma de oosporas. Para luego en primavera, si se cumplen ciertas condiciones ambientales, como precipitaciones de más de 10 mm., temperaturas superiores a 12°C y humedades elevadas, la actividad germinadora de la contaminación primaria del virus empezará a infectar la planta en sus diferentes fases.

De la misma manera, durante los periodos de incubación tienen que cumplirse ciertas condiciones ambientales para que el virus sobreviva. Tras este periodo de incubación, que oscila entre una y dos semanas, en función de la humedad ambiente y sobre todo de la temperatura, se pueden observar los primeros síntomas.

Mediante nuestro sistema de captación de información, de acorde a como se ha desarrollado en otros casos (Park, Cho & Park, 2009), podemos tener controladas todas estas variables y el sistema nos avisará cuando éstas se cumplan, de que existe la posibilidad de que la enfermedad se haya desarrollado en una zona localizada. De esta manera se puede determinar si de verdad nos ataca la enfermedad y proceder a utilizar un tratamiento para solucionarlo.

Además en caso de que las condiciones hayan hecho imposible el desarrollo de la enfermedad, podemos ahorrar recursos tales como el gasto en insecticidas. E incluso eliminar el riesgo de multiplicación de ácaros o cicadélidos que se ven favorecidos por el uso de insecticidas.

Para la instalación de esta aplicación se sitúa un nodo gateway en la bodega (NB100 Stargate NetBridge) al que se conecta una antena de largo alcance (HAO15SIP) para poder situar grupos de nodos a la mayor distancia posible. En diferentes zonas de la viña se sitúan nodos (Eko) que determinen mediciones relacionadas con los factores ambientales que hacen posible detectar la enfermedad. En este caso los sensores que van a determinar si hay riesgo de enfermedad o no son: temperatura ambiente (MCP9700A), humedad ambiente (808H5V5), cantidad de lluvia caída (ES2000) y humectancia de la hoja (Decagon Leaf Wetness Sensor).

El sistema no solo puede avisar del posible riesgo de Mildiu, sino que con la correcta programación podría llegar a alertar al viticultor de la posibilidad de aparición de más enfermedades que estén relacionadas con estos parámetros.

5. Conclusiones

La tecnología está avanzando a pasos agigantados, lo que lleva a que cada vez aparezcan más dispositivos que permiten ayudar al ser humano en su trabajo. Uno de estos avances es la tecnología inalámbrica y la manera en que una red de sensores puede captar información y transmitirla inalámbricamente sin necesidad de una instalación de cableado por el sistema.

Este tipo de tecnología tiene especial importancia en aplicaciones agrarias donde puede ser más costoso o incluso imposible desplegar una red de tipo cableado. Gracias a las WSN una aplicación agraria puede ser monitorizada de manera simple y con un coste reducido, eliminado el problema del cableado dentro de la red, que en algunas ocasiones imposibilitaba la instalación.

La monitorización de cultivos es una ayuda importante para el agricultor ya que disponer de cierta información relativa a diferentes variables dentro de la plantación puede suponer un

conocimiento que repercute a posteriori en la cantidad y en la calidad de la producción. Pero no solo ayuda en la producción, sino también en las operaciones a realizar durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Un ejemplo de una instalación de este tipo es la monitorización de viñedos para controlar ciertas enfermedades, como por ejemplo el mildiu. Hay ciertas enfermedades como puede ser ésta, que están muy relacionadas con las condiciones climatológicas a las que se ve sometida la vid. Mediante una WSN y monitorizando las zonas más interesantes dentro de la parcela podemos detectar cuando y en que regiones de nuestro viñedo se dan las condiciones de posible desarrollo de la enfermedad.

Detectando las zonas donde la enfermedad puede desarrollarse podemos luchar contra ella para eliminarla, ayudando a no tener pérdidas en la producción. Y conociendo las zonas donde ésta no puede darse, podemos obtener un ahorro de recursos al conocer que no debemos usar tratamiento para esa enfermedad ya que es inviable que se manifieste.

Por consiguiente la tendencia del mercado nos va a llevar a partir de ahora a ver como más cultivos son monitorizados, ya que la ayuda que se consigue para los agricultores es de un valor considerable, llegando en ocasiones, como puede ser la aparición de enfermedades, a poder salvar una cosecha.

6 Referencias

- Ajwa H.A & Tabatabai M.A, (1994). Decomposition of different organic materials in soils. *Biol. Fertil. Soils*, 18, 175-182.
- Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y. & Cayirci E., (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38, 4, 393-422.
- Al-Karaki J.N. & Kamal A.E., (2004). Routing techniques in wireless sensor networks: A survey. *IEEE Wireless Communications*, 11, 6, 6-27.
- Ashraf A., Rauf A., Mussadiq M., Chowdhry B.S. & Hashmani M., (2009). A model for classifying threats and framework association in wireless sensor networks. *3rd International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification in Communication, ASID 2009*, 7-9.
- Blackmore S., (1994). Precision farming: and introduction, *Outlook Agr.*, 23, 275–280.
- Bulusu N., Estrin D., Girod L. & Heidemann J., (2001). Scalable coordination for wireless sensor networks: Self-configuring localization systems. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Communication Theory and Applications (ISCTA)*.
- Burgess S.S.O., Kranz M.L., Turner N.E., Cardell-Oliver R. & Dawson T.E., (2010). Harnessing wireless sensor technologies to advance forest ecology and agricultural research. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1, 30-37.
- Cardenas-Lailhacar B. & Dukes M.D., (2010). Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field conditions. *Agricultural Water Management*, 97, 5, 666-672.
- Ghaffari A. & Rahmani A.M., (2008). Fault tolerant model for data dissemination in wireless sensor networks. *International Symposium on Information Technology, ITSIm, Kuala Lumpur*.
- Hortos W.S., (2006). Intelligent self-organization methods for wireless ad hoc sensor networks based on limited resources. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 6229, 622907.

- Kori R.H., Angadi A.S., Hiremath M.K. & Iddalagi S.M., (2009). Efficient Power Utilization of Wireless Sensor Networks: A Survey. *International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, ARTCom '09*, 571-575
- Li K., Zeng C. & Liang H., (2009). Better Power Management of Wireless Sensor Network. *International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics. IHMSC '09*, 103-106.
- Munoz, A., Lopez-Pineiro, A., Albarran, A. & Ramírez M., (2009). Influencia de la agricultura de conservación en la temperatura del suelo y su relación con las poblaciones microbianas. *Rev. de Ciências Agrárias*,.32, 1, 123-129.
- Park D. H., Cho S. E. & Park J. W., (2009). The realization of greenhouse monitoring and auto control system using wireless sensor network for fungus propagation prevention in leaf of crop. *CCIS - Communications in Computer and Information Science*, 65, 28-34.
- Shen, A.N. , Guo, S. , Chien, H.Y. & Guo, M., (2009). A scalable key pre-distribution mechanism for large-scale wireless sensor networks. *Concurrency Computation Practice and Experience*, 21, 10, 1373-1387.
- Thein T., Lee S.M. & Park J.S, (2009). Improved method for secure and survivable wireless sensor networks. *11th International Conference on Computer Modelling and Simulation, UKSim, Cambridge*.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la “Dirección General de Investigación” del Ministerio Español de Ciencia e Innovación por el apoyo financiero de los proyectos DPI2006-03060, DPI2006-14784, DPI2006-02454 y DPI2007-61090; y a la Unión Europea por el proyecto RFSPR-06035.

Finalmente, los autores quieren agradecer también al Gobierno Autonómico de La Rioja por su apoyo a través del 3º Plan Riojano de I+D+i y a la Universidad de La Rioja por su ayuda a través de sus becas FPI.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Roberto Fernández Martínez.
Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.
Universidad de La Rioja
C/ Luis de Ulloa 20, 26004 Logroño, La Rioja (España).
Phone: +34 941 299 232
E-mail: roberto.fernandez@unirioja.es
URL: <http://www.mineriadatos.com>