

“Alertas tempranas por heladas en redes de comunicación seguras.”

Karina Fernández Hidalgo¹, Graciela Becci², Miguel Morandi²

¹ UNSJ- Facultad de Ingeniería – IDECOM: Av. Libertador Gral. San Martín 1109 - J5400ARL San Juan karinaferh@gmail.com

² UNSJ- Facultad de Ingeniería – IDECOM: Av. Libertador Gral. San Martín 1109 - J5400ARL San Juan {gbecci, morandi}@unsj.edu.ar

Abstract.

En Argentina, las heladas tardías de Septiembre 2013 produjeron daños en varias provincias llevando a declarar la emergencia agropecuaria, implicando pérdidas de producción y puestos de trabajo. La helada es un fenómeno focalizado de compleja determinación, que depende del estado de desarrollo del cultivo, la exposición a temperaturas extremas y su duración. Existen diversas soluciones en el campo de la investigación y comercial, no obstante la solución no siempre llega al conjunto de productores. Por estos motivos es que se propone el desarrollo de un sistema de alertas confiables por heladas transmitidas en una red de comunicación segura para garantizar el servicio previniendo vulnerabilidades de la red del sistema de alertas. Para este sistema se ha desarrollado una metodología que incluye estudios del modo y criticidad de las heladas, relevamientos de campo y desarrollo del sistema informático y la red de comunicaciones. El sistema se valida mediante un piloto local a la Universidad Nacional de San Juan y un piloto provincial, de los cuales actualmente está en fase de desarrollo.

Keywords: agrometeorología; red del sistema alertas por heladas; seguridad en redes de comunicación; red de sensores

1 Introducción

La definición técnica de helada se refiere a la formación de cristales de hielo en superficies debido al congelamiento del rocío por cambio de fase del agua, de vapor a hielo. El uso común del término helada se refiere al daño que sufre la planta por congelamiento con temperaturas inferiores a 0 °C. La FAO (Food and Agriculture Organization) precisa el término helada como la ocurrencia de temperaturas de 0 °C o menores, medidas a una altura entre 1.25 y 2 m sobre el nivel del suelo, donde el contenido de agua de las plantas puede congelarse, dependiendo del tiempo que dure la helada [1]. El fenómeno de helada se transforma en congelamiento cuando el agua extracelular dentro de la planta se congela [2], empieza a desarrollarse el daño por congelamiento, el hielo rompe el tejido celular de la planta, ocasionando su deshidratación rápida y la probabilidad de ingreso de bacterias, llevando el cultivo a una con-

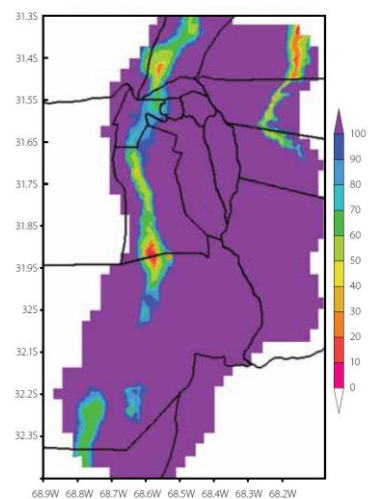
dición fisiológica irreversible que conduce a la muerte o mal funcionamiento de las células de la planta [3][4]. La ocurrencia de una helada no necesariamente produce daños en los cultivos, dependiendo de la variedad y estado de desarrollo de la planta. Los cambios bruscos de temperatura pueden afectar adversamente, como sería el caso de una helada precedida de viento Zonda (viento caliente trans-andino en la provincia de San Juan), este tipo de viento puede provocar el adelanto de la floración que es severamente dañada por la helada. La topografía y estado de laboreo del terreno, humedad relativa del ambiente y contenido de agua en el suelo, determinan el estado hídrico y la capacidad del cultivo para tolerar bajas temperaturas. La interacción de todos estos factores indica la complejidad que existe para determinar con cierto grado de precisión la existencia de riesgo por helada.

En Argentina, las heladas tardías de Septiembre 2013 produjeron daños en las provincias de Mendoza, San Juan, Santiago del Estero y La Pampa llevando a declarar la emergencia agropecuaria [5]. Solamente en San Juan las pérdidas aproximadas fueron de 20.000 hectáreas representando aproximadamente el 10% de la superficie total cultivada. Las consecuencias son las pérdidas de producción, 7.000 puestos de trabajo amenazados y pérdidas de oportunidades económicas en el mercado, de difícil cuantificación. Para paliar la situación fue necesario implementar ayudas del Gobierno en forma de subsidios para evitar el desempleo, otorgamiento de líneas de créditos a baja tasa y diferimiento impositivo.

Para justificar una inversión tecnológica en un sistema de alertas por heladas, es importante determinar el régimen de las heladas y si existe una tendencia en las ocurrencias. Si bien no existen mediciones sistemáticas en la provincia de San Juan que prueben un cambio climático, en un estudio llevado a cabo en el Valle de Tulum de esta provincia [6], se ha detectado un incremento de temperaturas máximas estivales y disminución de temperaturas mínimas invernales con efectos adversos para la agricultura local. Según este reporte, existe un alto porcentaje de daños con heladas para la mayor parte del Valle, dentro del período estudiado 1998-2012, Figura 1. Con respecto a la duración, el estudio encontró que las últimas heladas se extienden hasta octubre, coincidiendo en muchos casos con el estado fenológico de floración de los cultivos. Estos hallazgos están dentro de un período durante el cual se detectó un descenso de las temperaturas mínimas absolutas, lo que estaría indicando que existe un cambio climático que se prolonga en el tiempo, Figura 2.

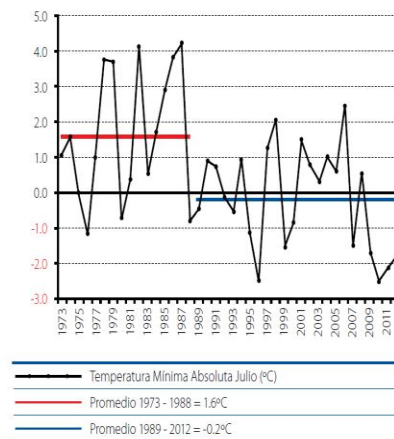
Para desarrollar un sistema eficaz de alertas tempranas es importante conocer el modo en que se producen las heladas. Una helada puede originarse de tres maneras o en forma combinada, por radiación, advección, o evaporación. En la helada por radiación, el enfriamiento se produce por pérdida de energía a través de la radiación desde el suelo hacia la atmósfera. Este tipo de heladas puede producirse aún durante noches claras y calmas, con temperaturas que pueden ser superiores a cero durante el día. Por el contrario, las heladas por advección se producen por grandes masas de aire frío que entran en una atmósfera ventosa, provocando temperaturas bajo cero aún durante el día, reemplazando el aire tibio que circunda al cultivo. La helada por evaporación se produce cuando el agua de lluvia o humedad ambiente depositada en la superficie de la planta y en su entorno se evapora, produciendo un descenso de temperatura por pérdida del contenido calórico [7]. La característica montañosa de San Juan hace que

existan diferencias térmicas entre zonas altas y bajas, con desplazamiento de las masas de aire frío más denso hacia zonas más bajas, propiciando la ocurrencia de una helada en los valles, como se observa en la Figura 1. Factores como la existencia de montes y arbolado alteran la distribución de las masas de aire frío, creando corrientes alternativas, provocando diferencias térmicas dentro de un mismo predio, y que no son fáciles de detectar.



Fuente: Elaborado por E. Sierra, M. Lollini y E. López, a partir de información proveniente del Servicio Meteorológico Nacional, INTA y NOAA/CIRES.

Figura 1. Porcentaje de años con heladas (0°C) para el Valle de Tulum, San Juan. Serie 1998-2012. Los valles son más afectados debido a que las masas frías se desplazan hacia zonas bajas [6].



Elaborado por los autores a partir de datos provenientes del Servicio Meteorológico Nacional Argentino, INTA y NOAA/Cires para el período 1998/2012.
Fuente: Sierra, E. 2012

Figura 2. Temperatura absoluta para el mes de Julio para el período 1973-2012 [6], donde se observa la disminución sufrida para el período 1989-2012.

1.1 Antecedentes

Las soluciones tecnológicas para alertas por heladas, y climatológicas en general, se refieren a redes de sensores inalámbricos, siendo el caso más explorado el de sensores de corto alcance [8] [9] [10]. La extensión de la red sigue siendo un problema a resolver, particularmente cuando se tiene como objetivo el desarrollo de alertas en el área provincial. En la actualidad el INTA cuenta con el diseño de estaciones agrometeorológicas automáticas Nimbus THP [11], interconectadas a través del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica SIGA. A través de este servicio, el INTA ofrece alertas por heladas como por ejemplo en la región norte del Paraná, Estación Experimental San Pedro [12]. Los datos, medidos, son referenciales quedando a cargo del productor la evaluación de la aplicabilidad de dichas alertas en sus propios cultivos. Existe abundante investigación basada en información satelital [13][14][15], donde en el caso particular de agrometeorología, las alertas son generadas por algoritmos de extracción de información de imágenes, que constituye un área especial de

investigación dentro de análisis de grandes datos. En general e independientemente del tipo de sensor usado para captar la información agrometeorológica, los desafíos encontrados en este tipo sistema de alertas son los mismos: el análisis de gran cantidad de datos, desarrollo de redes de comunicación confiable, mantenimiento y calibración de los instrumentos de campo empleados, entre otros.

Los problemas encontrados indican la necesidad de buscar alternativas efectivas para una red de alertas por heladas. Por lo tanto el objetivo de este artículo es presentar una metodología que abarque la detección, generación de alertas e implementación en un sistema de comunicación seguro, en zonas montañosas que comprometen la calidad de la señal de comunicación, y que permita llegar con la información a los productores y/o entidades particulares y gubernamentales que lo necesiten.

2. Sistema de alertas tempranas de heladas

2.1 Metodología de trabajo

El método de trabajo se basó en el análisis de soluciones y tecnologías existentes y su aplicabilidad al proyecto, para lo cual se creó una base de datos bibliográfica que incluye los temas básicos a desarrollar: agrometeorología, seguridad y performance de redes de comunicación, algoritmos agrometeorológicos, análisis de grandes datos, particularmente agrometeorológicos y modelos socio-económicos y de aceptación del sistema propuesto.

La metodología incluye también un estudio prospectivo para la localización de estaciones meteorológicas, consistente en el análisis del modo de heladas y su criticidad para diferentes cultivos de la provincia de San Juan, con el objetivo de determinar los parámetros a medir, el modo de medición más apropiado, incluyendo rangos, tolerancias y frecuencias de medición. El resultado de este análisis fue una base no tan solo para determinar la localización de las estaciones meteorológicas, sino también para la selección de la estación meteorológica a adquirir para el plan piloto, y para el diseño de la base de datos.

Para la selección de cultivos a evaluar, se realizó un análisis basado en el Censo Nacional Agropecuario 2008 [16] para determinar la distribución de la superficie implantada en la provincia de San Juan. Se pudo determinar que la mayor cantidad de hectáreas de la provincia están implantadas con vid como cultivo prioritario, le siguen el olivo, frutales, forrajeras, aromáticas, entre otros de menor escala. En la selección de los puntos de medición se ha dado preferencia a los predios cultivados con mayor criticidad en lo que se refiere a cobertura de señal de telefonía pública, tales como terrenos montañosos, lugares donde la señal de telefonía no es óptima o inexistente, y donde previamente se han realizado escasos o nulos estudios agroclimáticos tendientes a ayudar al productor en su labor.

2.3 Determinación del procesamiento de datos

Para este sistema de alertas se han desarrollado dos bases de datos, una para adquisición y procesamiento de los parámetros agrometeorológicos y otra para registro y administración de los cultivos del sistema.

Las bases de datos, se diseñaron en Diagrama de Clases con el lenguaje UML detallando cada una de las clases con atributos y las relaciones entre ellas, para modelar la estructura lógica de la base de datos y se administran con el motor MySQL.

Los datos correspondientes a los registros de medición de los sensores de la estación, geo-referencia, entorno local, mantenimiento, entre otros, se detallan en Figura 3.

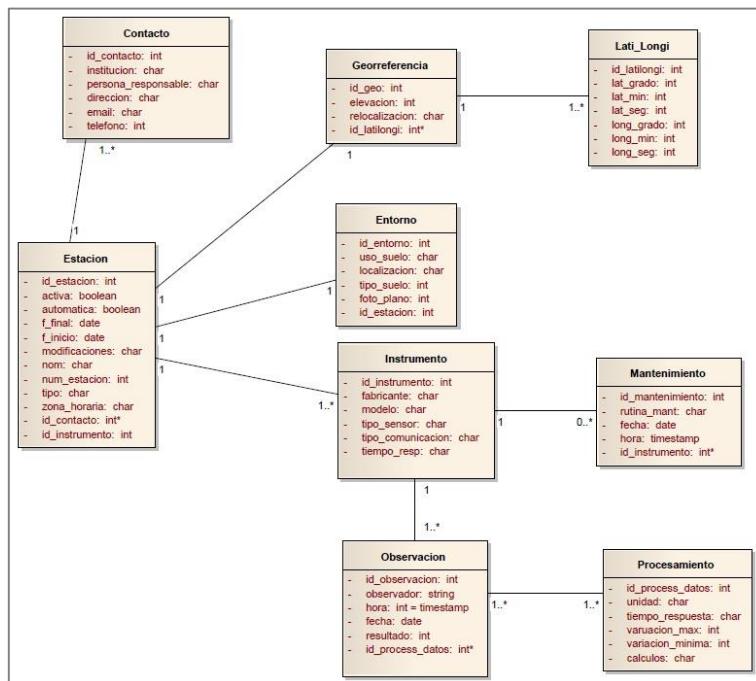


Figura 3. Diagrama de entidad-relación en UML de la base de datos Estación Meteorológica

La base de datos administrativa del sistema contiene información de cultivos que puedan ser beneficiados por el sistema de alertas. Para recabar esta información, durante el relevamiento de predios se completa un cuestionario diseñado especialmente para detectar antecedentes de daños por helada u otros fenómenos climáticos, y detectar también diferentes tipos de problemas que puedan afectar la toma de datos, calidad de la señal de comunicación y preservación de los equipos de medición. Los factores relevados fueron la localización del terreno, tipo de cultivos, descripción del terreno y tipo de regadío, tipo de edificación circundante y antecedentes de daños debido a

factores medioambientales. Esta información es almacenada en la base de datos administrativa para ser tenida en cuenta en la generación de las alertas.

El diagrama de entidad-relación en UML para la base de datos administrativa se muestra en la Figura 4, donde se observan las múltiples variables interrelacionadas entre sí, con consideraciones para almacenar la localización de la finca, evidencias de imágenes, tipo de cultivo, tipo de riego, antecedentes de fenómenos medioambientales que den una indicación del lugar óptimo para la ubicación de los sensores y el equipo de medición

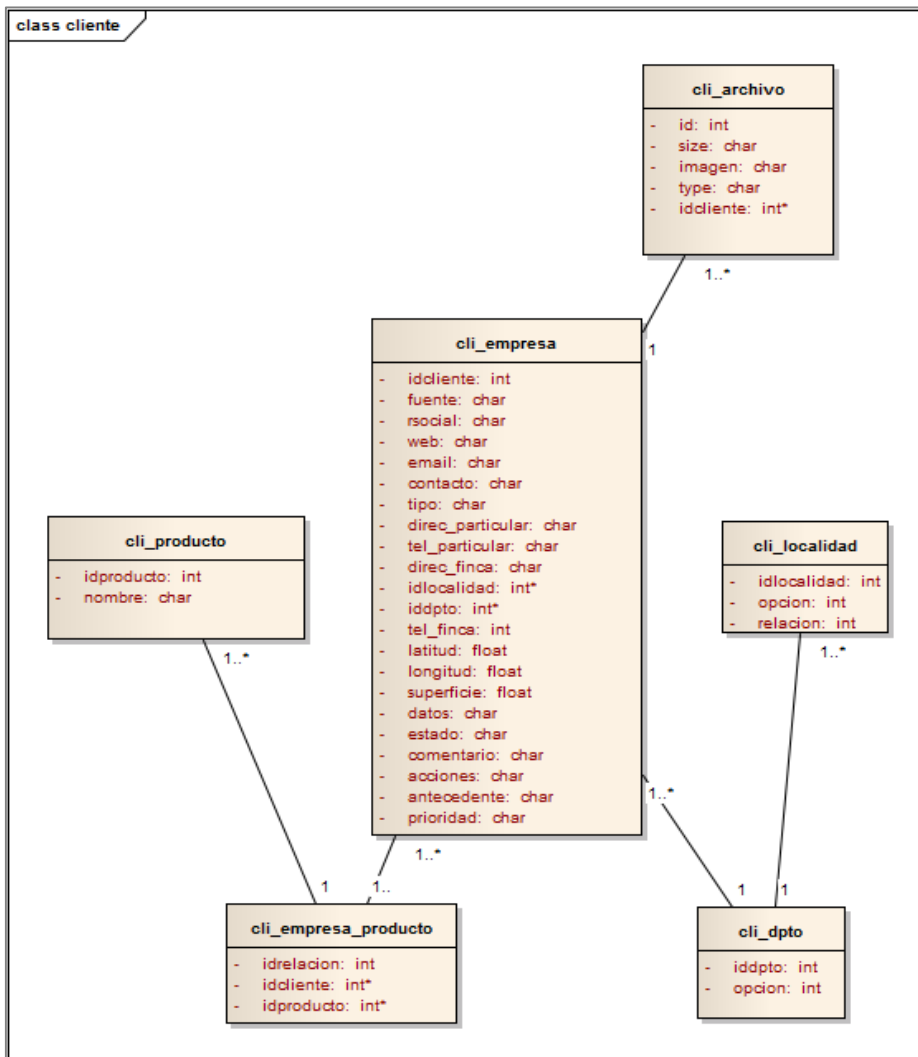


Figura 4. Diagrama de entidad-relación en UML de la base de datos administrativa

Se creó una aplicación web para el manejo de ambas bases de datos, que permite almacenar, administrar y publicar la información de la estación meteorológica y de los usuarios.

El sistema de software fue desarrollado con los lenguajes de programación, HTML, PHP, JavaScript, JQuery, y se encuentra implementado en un servidor propio de la universidad. Un ejemplo de carga de datos de un productor/cliente se muestra en la Figura 5.

The screenshot displays a web application titled "Base de Datos de Clientes". At the top, there are three navigation tabs: "INICIO", "LISTA EMPRESAS", and "EVIDENCIAS". The main form contains the following fields and controls:

- Fuente:** Text input field.
- Razon Social:** Text input field.
- Web/http://**: Text input field.
- Email:** Text input field.
- Contacto:** Text input field.
- Tipo:** Dropdown menu with "Dueño" selected.
- Direccion Oficina:** Text input field.
- Telefono:** Text input field.
- Direccion Finca:** Text input field.
- Telefono:** Text input field.
- Departamento:** Dropdown menu with "Elige" selected.
- Localidad:** Dropdown menu with "Selecciona opción..." selected.
- Geoposicionamiento:** Two text input fields for "latitud S-N" and "longitud E-O".
- Producto:** Dropdown menu with "Elige" selected, showing options: "Aceite de oliva", "Acelga", and "Ajo".
- Superficie:** Text input field.
- Datos generales:** A large text area for additional information.
- Estado:** A row of radio buttons with the following options: "Relevado", "Contactado", "Enviar invitación", "En curso", "No tomar acción", "Aval", and "Evidencias".

Figura 5. Ejemplo de carga de datos de la BD Cliente

2.4 Planes piloto

La validación del sistema se realiza mediante el desarrollo de un plan piloto local a la Universidad Nacional de San Juan y de un plan piloto provincial abarcando diferentes localidades de la provincia. El piloto local, que se encuentra en su fase de desarrollo, es una prueba de concepto implementada dentro de las instalaciones de la Universidad para la puesta a punto de la red y para solucionar problemas en un entorno controlado. La experiencia de este aprendizaje se aplicará en la implementación del piloto provincial a llevarse a cabo en plantaciones determinadas a través de la encuesta realizada con la colaboración de productores interesados en el sistema de alertas.

2.5 Diseño de la red de comunicación segura

La geografía de valles y montañas característica de las zonas cultivadas de la provincia de San Juan, es un desafío para la implementación de una red de sensores inalámbricos. Muchas de las zonas cultivadas no tienen cobertura por parte de las empresas de comunicación comercial, o la señal débil de calidad no garantizada. El tendido de una red inalámbrica se ve afectado por las grandes distancias a cubrir por los nodos sensores, excediendo muchas veces los 200 metros, con pérdida de potencia de la señal debida a obstáculos tales como montes o cortinas de árboles alrededor de los cultivos. Por otro lado los campos cultivados en muchos casos no están provistos de tendido de red eléctrica, por lo que fue necesario usar dispositivos de bajo consumo y bajo mantenimiento alimentados por baterías y/o fuentes alternativas de energía como celdas fotovoltaicas, y robustos para operar en la intemperie.

Para el diseño de la red se eligió el modelo de capas OSI para una pila de protocolos de TCP/IP, con interés particular en la Calidad de Servicio (QoS) para determinar la tasa de transmisión, retardos, tiempo medio entre fallas, etc [17]. Debido a que los protocolos del stack TCP/IP, por definición, tienen escasa o nula interacción entre capas, se ha decidido emplear el concepto de diseño a través de capas o cross-layer design, [18][19], para complementar el modelo OSI con mecanismos que se encarguen de la optimización de la energía de los dispositivos, la integridad de la red en el medio geográfico y seguridad de las comunicaciones [20]. Este enfoque permite que diferentes capas interactúen entre sí, por ejemplo compartiendo el estado de variables entre diferentes capas, para implementar algunas de las funciones descriptas. Dentro del contexto del presente proyecto se ha considerado el uso de una abstracción del modelo OSI con cinco capas: física, enlace de datos, red, transporte y aplicación, complementado en una tercera dimensión transversal que incluya las capas de Optimización Energética, Reconfigurabilidad y Seguridad, representada en la Figura 6.

Dadas estas características de la red de sensores es que se considera apropiado usar el estándar para redes inalámbricas de baja tasa de datos, baja complejidad y bajo consumo energético IEEE 802.15.4 Low Rate WPAN (Wireless Personal Area Network). Dentro de los estándares de redes inalámbricas de baja potencia y a diferencia de ZigBee que sólo interactúa con nodos que comparten el estándar 802.15.4, 6LoWPAN permite además la interconexión con dispositivos conectados a la red IP (Ethernet o WiFi). También tiene la ventaja de usar el espacio de direccionamiento de IPv6 para adaptar la red de sensores al crecimiento de IoT (Internet of Things), y permitir el ruteo con múltiples saltos (hops) para formar una malla de sensores de baja potencia [21].

A nivel de aplicaciones se pueden usar protocolos de comunicación entre nodos del tipo publicación/subscripción como MQTT Message Queuing Telemetry Transport que permite a los nodos sensores subscribirse a un tópico definido [22][23]. Esta característica puede emplearse por ejemplo para segmentar grupos de nodos por áreas a nivel de aplicación. Este protocolo posee QoS de entrega de mensajes y el broker o administrador de mensajes puede implementarse en la intranet (server local) o Internet (servicios en la nube de AWS, Mosquitto, RabbitMQ, etc). Otra alternativa es el protocolo CoAP Constrained Application Protocol basado en arquitectura REST (Repre-

sentational State Transfer) para el desarrollo de módulos portables, escalables y confiables. Ofrece servicios de administración de energía en dispositivos a través de suscripción a tópicos y la función “sleep”. La calidad de servicio se asegura a través de mensajes de confirmación y retransmisión de paquetes. Las limitaciones de este tipo de dispositivos de baja potencia, es la baja capacidad procesamiento y almacenamiento que, para el caso de una red de alertas por heladas, no representan un gran problema, por la baja tasa de transmisión de datos.

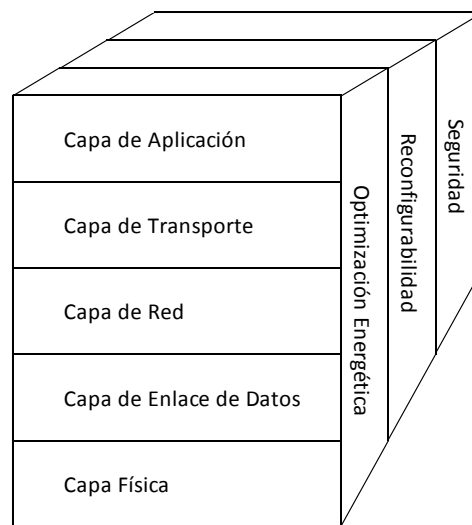


Figura 6. Abstracción del modelo OSI para el proyecto de alertas por heladas, que incluye el concepto de diseño a través de capas para incorporar conceptos energéticos, reconfiguración y seguridad.

3 Conclusiones

Se ha presentado la metodología de trabajo para el desarrollo de un sistema de alertas tempranas por heladas aplicadas a cultivos de la provincia de San Juan. Se ha descrito el modo de selección de predios que van a formar parte del plan piloto provincial, así como también se ha presentado el desarrollo de las bases de datos del sistema, y el enfoque a aplicar a la red inalámbrica de sensores.

El aporte primordial de este trabajo es la selección de puntos de medición estratégicos para detectar heladas donde los cultivos son más vulnerables y a la vez donde la implementación de una red inalámbrica presente un mayor desafío para las comunicaciones, considerando el escenario montañoso de la provincia y la limitación energética de los equipos. Para ayudar a que la solución propuesta beneficie a la mayor cantidad de productores que lo necesiten es que se optimizan costos a lo largo de todas las etapas del proyecto y se usan sistemas abiertos para la comunicación y gestión de la información.

3.1 Limitaciones y Trabajo a Futuro

Esta propuesta está focalizada en la generación de alertas por heladas, por lo que un desarrollo de predicción agrometeorológica de precisión que considere, por ejemplo, el estado hídrico de la planta, está fuera del alcance de este trabajo. No obstante como una mejora a este sistema se pueden incorporar sensores de este tipo que permitan también la administración de mecanismos para contrarrestar las heladas.

En las etapas siguientes de este trabajo se validará el sistema en diferentes puntos de la provincia mediante la implementación del plan piloto provincial, evaluando la capacidad del algoritmo en la detección de riesgos de heladas, y la performance y seguridad de la red de comunicaciones. La aplicación de este tipo de sistema de alertas puede ampliarse a otras regiones del país, considerando que es importante realizar pruebas de conectividad previas al establecimiento de la red.

Referencias

- [1] J. P. R.L. Melo-Abreu Snyder, *Frost protection: fundamentals, practice and economics*. FAO Environment and Natural Resources Service Series;10, 2005.
- [2] W. J. Burroughs, "Gardening and climate change," *Weather*, vol. 57, no. 5, pp. 151–157, 2002.
- [3] F.-M. Chmielewski, A. Müller, and E. Bruns, "Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 121, no. 1, pp. 69–78, 2004.
- [4] T. A. S. L. Gallo, "Heladas Primaverales en el Valle de Viedma: Su efecto en la producción de los viñedos, en los últimos seis años.," *Comunicaciones-Publicación del Valle Inferior*, vol. 20, no. 64, 2010.
- [5] Diario El Zonda, *El campo sanjuanino en emergencia por heladas*. 2013.
- [6] G. Babelis, F. Vita Serman, and E. Sierra, "Adaptación agroclimática del olivo y otras especies frutales en el Valle del Tulum," Fundación ArgenINTA - Consejo Federal de Inversiones, 2013.
- [7] J. D. Kalma, G. P. Laughlin, J. M. Caprio, and P. J. Hamer, *The bioclimatology of frost: Its occurrence, impact and protection*, vol. 2. Springer Science & Business Media, 2012.
- [8] C. Godoy, C. Carletto, J. Correa, and A. Lage, "Estación Meteorológica con Comunicación GSM para Predicción de Heladas y Detección de Viento Zonda," 2012.
- [9] V. T. Varghese, K. Sasidhar, and R. P., "A status quo of WSN systems for agriculture," in *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2015 International Conference on*, pp. 1775–1781.
- [10] C. Perera, P. P. Jayaraman, A. Zaslavsky, D. Georgakopoulos, and P. Christen, "Sensor discovery and configuration framework for the internet of things paradigm," in *Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum on*, 2014, pp. 94–99.
- [11] M. Belloni, R. O. Rodríguez, N. R. Fernández, A. F. Moltoni, and Ángel D. Blasón, "Desarrollo de un Sistema de Observación y Análisis Climático y Ambiental. Diseño de Estaciones Agrometeorológicas Automáticas NIMBUS THP."
- [12] L. Peña, "Servicio de alarma para control de heladas," 2012.
- [13] N. Chen, X. Zhang, Z. Chen, and S. Yan, "Integrated geospatial sensor web for agricultural soil moisture monitoring," in *Agro-Geoinformatics (Agro-geoinformatics), 2015 Fourth International Conference on*, pp. 28–32.
- [14] P. Dabove and A. M. Manzano, "GPS mass-market receivers for precise farming," in *2014 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium - PLANS 2014*, pp. 472–477.

- [15] D. M. B. Hoyos and B. Consultora, "Documento Teórico de los productos de Heladas del programa de Bienes Públicos Regionales," 2014.
- [16] INDEC, "Censo Nacional Agropecuario 2008." Ministerio de Economía, 2008.
- [17] M. Robles, "QoS en redes wireless con IPv6," Facultad de Informática - Universidad Nacional de La Plata, 2008.
- [18] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdhury, "A survey on wireless multimedia sensor networks," *Computer Networks*, vol. 51, no. 4, pp. 921–960, 2007.
- [19] M. M. Khan, "Cross-layer Designs: a Survey," *International Journal of Computer Applications*, vol. 53, no. 8, 2012.
- [20] O. Gaddour, A. Kouba, and M. Abid, "Quality-of-service aware routing for static and mobile IPv6-based low-power and lossy sensor networks using RPL," *Ad Hoc Networks*, vol. 33, pp. 233–256, 2015.
- [21] C. H. Barriuello, G. W. Denardin, and A. Campos, "A geographic routing approach for IPv6 in large-scale low-power and lossy networks," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 45, pp. 182–191, 2015.
- [22] V. Gazis, M. Görtz, M. Huber, A. Leonardi, K. Mathioudakis, A. Wiesmaier, F. Zeiger, and E. Vasilomanolakis, "A survey of technologies for the internet of things," in *2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2015, pp. 1090–1095.
- [23] V. Karagiannis, P. Chatzimisios, F. Vazquez-Gallego, and J. Alonso-Zarate, "A survey on application layer protocols for the internet of things," *Transaction on IoT and Cloud Computing*, vol. 3, no. 1, pp. 11–17, 2015.