

Red de mensajería MQTT de datos meteorológicos para alerta temprana de heladas en cultivos de cerezas

Pablo Rosales¹, Nabil Jara¹, Tomas Caniza¹, Facundo Vidili¹, Lucas Martín Alvarez¹, Romulo Alcoleas¹, Matías Micheletto², Fernando Manavella³, Carlos De Marziani^{1,2}

¹ Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Comodoro Rivadavia, Chubut, 9000, Argentina
{prosales, marziani}@unpata.edu.ar

² Instituto Multidisciplinario para la Investigación y el Desarrollo Productivo y Social de la Cuenca Golfo San Jorge, IIDEPyS, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

³ Agencia de Extensión Rural los Antiguos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Abstract. En este trabajo se describe la implementación de una red de comunicación de mensajería de datos provistos por estaciones meteorológicas bajo el estándar de Internet de las Cosas MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Esta necesidad fue identificada por la Agencia de Extensión Rural INTA de Los Antiguos para cubrir la demanda de los productores de cereza como complemento a los sistemas de control de heladas instalados en los diferentes cultivos que presentan la particularidad de tener sistemas sensores con hardware y software de diversos fabricantes y las cuales publican sus datos en la nube ofrecida por cada uno de ellos. A partir de esta disponibilidad de datos, a través de un broker de comunicación EMQX de código abierto y altamente escalable es posible transmitir de forma segura a un sistema central los datos recopilados por diferentes estaciones meteorológicas que publican sus datos en la web. Asimismo, se dispone de una aplicación para dispositivos móviles a fin de acceder de manera rápida y sencilla a la información disponible de cada estación meteorológica para monitorear el estado de los cultivos cercanos. El empleo de esta propuesta resulta ser flexible ya que permite tener una escalabilidad sencilla de la red, permitiendo incorporar de manera rápida diversos dispositivos comerciales o no, incluso aquellos que no publican en línea sus datos actualmente, mejorando la granularidad de datos a fin de generar alertas tempranas de heladas con una baja latencia y de manera precisa. Así será posible mejorar la eficiencia de los sistemas antiheladas instalados en particular haciendo un uso racional del agua de los sistemas de prevención de heladas.

Keywords: IoT, Redes de Sensores, COTs, MQTT, Prevención de Heladas.

1 Introducción

Las redes de sensores basadas en Internet de las Cosas (*IoT, Internet of Things*) [1] han experimentado un rápido crecimiento y evolución en los últimos años, impulsadas por avances en tecnologías de sensores, comunicaciones inalámbricas y análisis de datos. Los grandes avances en hardware y los nuevos desarrollos en sensores micro-electromecánicos (*MEMS*) permiten reducir tamaños, costos, consumos y ampliar la funcionalidad de las tecnologías de sensado. Las mejoras en las comunicaciones inalámbricas han ampliado el alcance y la fiabilidad, facilitando la conectividad de dispositivos en entornos remotos o de difícil acceso. Finalmente, en los últimos años, los avances en análisis de datos y ciencias de datos han sido significativos, impulsados principalmente por el crecimiento exponencial en la disponibilidad de datos y el desarrollo de tecnologías tales como el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo [2-3] que han revolucionado la forma en que se aborda su análisis, la predicción de eventos futuros y las acciones óptimas a realizar. En este campo se puede mencionar también que las herramientas de visualización de datos han evolucionado para proporcionar capacidades interactivas y en tiempo real.

Así, la combinación de estos elementos ha permitido la creación de sistemas inteligentes que pueden monitorear, controlar y optimizar una amplia variedad de procesos y entornos en tiempo real. Dentro de este contexto, los dispositivos comerciales denominados *COTS* (Commercial off-the-shelf) han desempeñado un papel fundamental al proporcionar soluciones preconstruidas y escalables que simplifican el desarrollo y la implementación de redes de sensores IoT [4]. Además, al aprovechar la experiencia y el soporte de los proveedores de COTs, los desarrolladores pueden centrarse en la innovación y la personalización de sus aplicaciones en lugar de preocuparse por aspectos técnicos o de implementación. Uno de los aspectos más destacados de las redes de sensores basadas en IoT es la diversidad de aplicaciones en las que se están utilizando: desde la monitorización ambiental y la gestión de la energía hasta la salud digital y la agricultura de precisión. Dentro de los dispositivos comerciales que han experimentado un crecimiento significativo se encuentran las estaciones meteorológicas. Un conjunto de ellas desplegadas en diferentes ubicaciones de manera estratégica, permiten recopilar datos en la nube [5-6] sobre las condiciones climáticas en una región dando respuesta a la creciente demanda de datos meteorológicos precisos y confiables. Así, estas redes de sensores inalámbricas están revolucionando la agricultura al proporcionar datos en tiempo real y herramientas para optimizar el manejo de cultivos y recursos, lo que resulta en una producción más eficiente, sostenible y rentable. La región de Los Antiguos, ubicada en la provincia de Santa Cruz, Argentina, es conocida por su producción de cerezas, que es una parte importante de la economía local [7]. El cultivo de cerezas en la ciudad de Los Antiguos, Santa Cruz, Argentina, tiene características específicas debido al clima y las condiciones del suelo en la región. El clima resulta propicio para el cultivo de cerezos, ya que las bajas temperaturas invernales son necesarias para el período de dormancia de los árboles y las altas temperaturas estivales favorecen la maduración de la fruta. Sumado a ello, la calidad del suelo en la zona de Los Antiguos es adecuada para el cultivo de los mismos.

Se cultivan variedades de cerezas adaptadas a las condiciones climáticas de la región, como la variedad Lapins, Bing, Regina, entre otras. En cuanto a los problemas actuales, uno de los más importantes tiene que ver con las heladas tardías que pueden dañar las flores y los frutos en formación en primavera, lo que reduce la producción de fruta. Con el crecimiento de la producción de cereza, los agricultores han desplegado estaciones meteorológicas comerciales en la zona, como complemento a los sistemas de control de heladas instalados en los diferentes cultivos. Estos presentan la particularidad de tener sistemas sensores con hardware y software de diversos fabricantes y las cuales publican sus datos en la nube ofrecida por cada uno de ellos. Sin embargo, la Agencia de Extensión Rural INTA de Los Antiguos [8] ha detectado la necesidad de contar con un sistema integrado de recolección de datos para cubrir la demanda de sistemas de alerta temprana de heladas para los productores de cereza como complemento a los sistemas de control de heladas instalados en los diferentes cultivos de la zona.

Así, teniendo en cuenta de esta disponibilidad de datos, en el presente trabajo, se presenta una solución basada en el protocolo MQTT [9-10] a través de un broker de comunicación EMQX de código abierto y altamente escalable para la visualización de mapas de variables meteorológicas y generar alertas tempranas para prevención de heladas. El trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera, la siguiente sección presenta los servicios de datos más frecuentes para estaciones meteorológicas comerciales, en la sección 3 se presenta la arquitectura del sistema de provisión de datos en desarrollo. Finalmente, la sección 4 presenta las conclusiones y trabajos futuros de la presente propuesta.

2 Datos meteorológicos en la nube a través de dispositivos comerciales COTs

La introducción de datos meteorológicos en la nube a través de estaciones meteorológicas comerciales es una práctica cada vez más común y valiosa en la gestión de datos climáticos y en la agricultura de precisión [3]. Estas estaciones, equipadas con una variedad de sensores, recopilan datos en tiempo real sobre variables meteorológicas como temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, entre otros. Al disponibilizar estos datos en la nube, se obtienen beneficios significativos en términos de accesibilidad, almacenamiento seguro y análisis eficiente. Las plataformas de datos meteorológicos suelen ofrecer interfaces web intuitivas que permiten a los usuarios visualizar y descargar datos en tiempo real o históricos. Estas interfaces suelen incluir herramientas de visualización y análisis para facilitar la interpretación de los datos. También ofrecen APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones) a los desarrolladores para acceder a los datos meteorológicos de manera programática, integrándose en aplicaciones personalizadas, sistemas de información geográfica (GIS) u otros sistemas de análisis. Otras plataformas ofrecen servicios de suscripción que proporcionan acceso continuo a datos en tiempo real y actualizaciones periódicas.

Existen varios protocolos que se pueden utilizar para acceder a los datos meteorológicos en la nube, dependiendo de la infraestructura y las preferencias del usuario. Entre ellos se puede mencionar el MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)[9-10]. Este es un protocolo de mensajería diseñado para dispositivos con ancho de banda limitado y conexiones inestables. Algunas estaciones meteorológicas pueden enviar datos a través de MQTT, lo que permite una comunicación eficiente y en tiempo real entre la estación y la plataforma en la nube. MQTT es uno de los principales protocolos usados en IoT, el cual se caracteriza por tener gran flexibilidad y está orientado a la comunicación de sensores, además de consumir poco ancho de banda, puede ser utilizado en la mayoría de dispositivos. Este aborda la seguridad mediante tres aspectos como son: identidad, autenticación y autorización, agregando una capa extra de seguridad al permitir establecer conexiones cifradas. Este protocolo clasifica los elementos que participan en la red en publicadores, suscriptores y Brokers (servidores).

3 Arquitectura Propuesta, dispositivos y protocolos empleados

En la zona de aplicación de la presente propuesta se disponen de estaciones meteorológicas provistas por Davis Instruments® [11] ubicadas en diferentes sitios con acceso a servicio de internet lo cual facilita la comunicación de las estaciones con sus respectivos servidores. La arquitectura propuesta se describe en la figura 1. Los datos de las mediciones suministrados por las estaciones meteorológicas son consumidos gracias a la API que proporciona el fabricante.

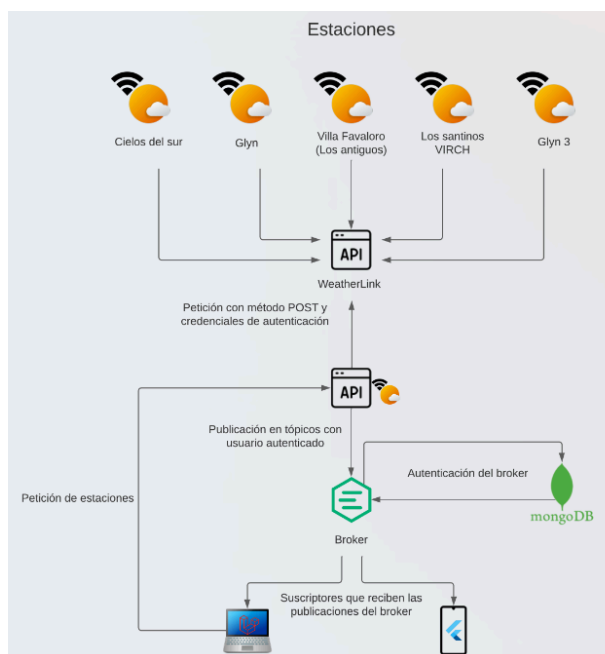


Fig. 1. Arquitectura del sistema en desarrollo

Una vez recolectados, estos datos son publicados en el broker de comunicación EMQX el cual posee su propio método de autenticación mediante una base de datos MongoDB, tanto para los usuarios que publican como para los usuarios que consumen dichos datos. Estas publicaciones se efectúan cada 20 segundos para reducir la latencia entre el dato representado en la aplicación y el dato real medido. En paralelo, los usuarios finales pueden visualizar la información procesada en sus dispositivos desde la pantalla de inicio o desde el mapa, seleccionando la estación a consultar. Por último, también tienen la oportunidad de poder crear notificaciones de cualquier estación y parámetro que desee para posteriormente ser alertado, si esta, supera o está por debajo de un umbral previamente asignado.

4 Desarrollo de la arquitectura en sistema web y dispositivos móviles

A partir de la arquitectura descrita en la sección anterior, se han desarrollado sistemas que actúan de clientes y que permiten la gestión y visualización de la información publicada por las estaciones meteorológicas. En la figura 2 se puede ver la interfaz visual del sistema web que permite listar las estaciones existentes y el detalle de sus parámetros, en este caso temperatura, humedad, punto de rocío, velocidad y dirección del viento, lluvia, presión atmosférica y nivel de batería del equipo. También permite crear una alerta de notificación como se mencionó anteriormente. Además, este sistema permite visualizar la ubicación geográfica de las estaciones y hacer las gestiones de usuario.

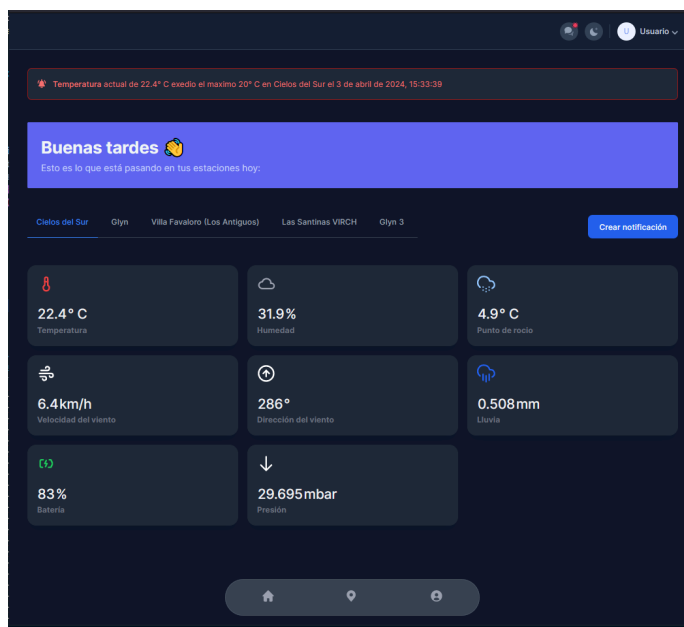


Fig. 2. Interfaz visual de sistema de gestión web.

Otro componente de la arquitectura que funciona como cliente es una aplicación móvil desarrollada para el sistema operativo Android bajo el framework Flutter. Esta posee las mismas funcionalidades que el sistema web, pero es independiente de la misma e interoperable, esto quiere decir que los usuarios y las alertas creadas en la web también funcionan para la aplicación Android y viceversa. Es importante destacar que cualquier otro sistema, puede ser incorporado a la arquitectura y, a través de los mensajes adecuados, interoperar con los sistemas ya existentes, ya sea para la publicación de datos meteorológicos como para la comunicación de nuevos sistemas que permitan operar las estaciones o bien visualizar los datos publicados. En la figura 3 se listan las estaciones incorporadas al sistema y tras la selección de una, se pueden ver los últimos datos listados de la misma.

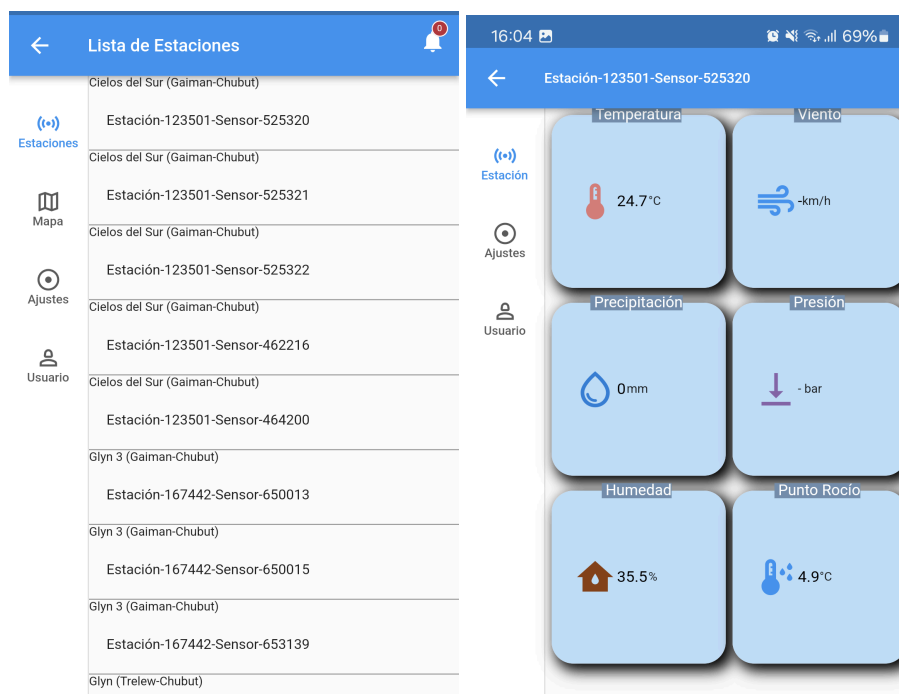


Fig. 3. Interfaz visual de aplicación móvil android, listado de estaciones y detalle de una.

5 Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se presenta una solución robusta e integrada para la gestión y visualización de datos meteorológicos provenientes de estaciones meteorológicas comerciales, pero con la capacidad de expandirse a cualquier otra estación, comercial o ad-hoc, con las capacidades de comunicar sus datos a través de internet. El uso de un broker como EMQX garantiza una transmisión eficiente y segura de los datos, haciendo uso de autenticación mediante una base de datos MongoDB, la cual añade

una capa de seguridad extra a la plataforma, asegurando que solo usuarios autorizados puedan acceder y consumir datos. Los sistemas web y Android desarrollados permiten un acceso y gestión intuitiva de los datos de las estaciones, siendo completamente transparente a la complejidad de la comunicación entre los componentes del broker, garantizando una experiencia consistente para los usuarios, independientemente del sistema que utilicen gracias a la reutilización de datos de usuario otorgada por la capacidad de comunicación de la arquitectura. Como trabajo a futuro se puede considerar el desarrollo e incorporación de nuevas estaciones meteorológicas o instrumentos de medición ad-hoc para los usuarios. A medida que la red incrementa su volumen de datos, es posible que sea necesario trabajar sobre la optimización de la arquitectura o la implementación de técnicas de balance de carga para un rendimiento óptimo. Por último, se pretenden mejorar las interfaces visuales y funcionalidades de los sistemas de gestión, para la implementación de mapas de calor según un parámetro deseado, la producción de informes personalizados o la capacidad de validar datos con diferentes fuentes de información climática.

Referencias

1. Gulati, K., Boddu, R. S. K., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., & Saravanan, G. (2022). A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT). *Materials Today: Proceedings*, 51, 161-165.
2. Shinde, P. P., & Shah, S. (2018, August). A review of machine learning and deep learning applications. In 2018 Fourth international conference on computing communication control and automation (ICCUBEA) (pp. 1-6). IEEE.
3. Saleem, M. H., Potgieter, J., & Arif, K. M. (2021). Automation in agriculture by machine and deep learning techniques: A review of recent developments. *Precision Agriculture*, 22(6), 2053-2091.
4. Piromalis, D.; Arvanitis, K. SensoTube: A Scalable Hardware Design Architecture for Wireless Sensors and Actuators Networks Nodes in the Agricultural Domain. *Sensors* 2016, 16, 1227. <https://doi.org/10.3390/s16081227>
5. O'Grady, M., Langton, D., Salinari, F., Daly, P., & O'Hare, G. (2021). Service design for climate-smart agriculture. *Information Processing in Agriculture*, 8(2), 328-340.
6. Kanagaraj, E., Kamarudin, L. M., Zakaria, A., Gunasagaran, R., & Shakaff, A. Y. M. (2015, November). Cloud-based remote environmental monitoring system with distributed WSN weather stations. In 2015 IEEE SENSORS (pp. 1-4). IEEE.
7. Manavella, F.; L. San Martino y F. Guerendiain. 2020. La cereza dulce más austral del mundo. *Agropost (CPIA). Producciones Intensivas*. Oct-Nov. N°170. pp 5-9. Author, F.: Article title. *Journal* 2(5), 99-110 (2016)
8. San Martino, L., & Manavella, F. A. (2022). Síntesis agrometeorológica de Los Antiguos (Santa Cruz). Período 2000-2021. EEA Santa Cruz, INTA.
9. B. Mishra and A. Kertesz, "The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 201071-201086, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3035849.
10. M. Carratú, V. Gallo and V. Paciello, "IEEE 1451: Communication among smart sensors using MQTT protocol", 2022 IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N), Padua, Italy, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/MN55117.2022.9887708.
11. Davis Instruments. (s.f.). Weather. Recuperado de <https://support.davisinstruments.com/category/g811lacsqs-weather>