

Desafíos tecnológicos de un proyecto de IoT para la agricultura familiar y manejo agroecológico en invernaderos del periurbano de La Plata

Néstor Castro¹ Agustín Candia² Claudia Queiruga³ Matías Pagano⁴ Markos Moscoso Ocampo⁵ Javier Díaz⁶

LINTI (Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas) - Facultad de Informática - Universidad Nacional de La Plata - Argentina

¹ncastro@info.unlp.edu.ar, ²acandia@linti.unlp.edu.ar, ³claudiaq@info.unlp.edu.ar, ⁴matiasp@linti.unlp.edu.ar, ⁵markos.ocampo@alu.ing.unlp.edu.ar, ⁶jdiaz@unlp.edu.ar

Resumen. Este trabajo se contextualiza en el proyecto de I+D+i “Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernadero bajo manejo agroecológico” del LINTI-UNLP (Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas). El objetivo del mismo es contribuir al desarrollo de tecnologías digitales orientadas a la producción agroecológica a escala de agricultura familiar, para el manejo preventivo de las enfermedades foliares generadas por hongos y pseudohongos, a partir del sensado automático de las condiciones microambientales de los invernaderos, mediante el uso de tecnologías IoT. El proyecto se desarrolla en la zona de producción hortícola del periurbano platense, específicamente en dos quintas de familias productoras de la localidad de Arana. La infraestructura de la solución propuesta se basa en tecnologías de comunicación LoRa (del inglés "long range" Largo alcance). En el trabajo aquí presentado se dará cuenta de los aprendizajes de las etapas iniciales del proyecto relacionados con las problemáticas de la comunicación dado el insuficiente nivel de señal de la red LoRaWAN en la zona donde se desarrolla el proyecto y de la escasa autonomía de energización de los nodos LoRa instalados en los invernaderos de las familias productoras.

Palabras clave: Agroecología, Agricultura Familiar, IoT, LoRa.

1 Introducción

El interés en estudiar las enfermedades foliares se debe a que son endémicas en cultivos de hoja del periurbano platense, ejemplos de ellas son el oídio (*Erysiphe Cichoracearum*), la mildiu (*Bremia* spp.), la viruela de acelga (*Cercospora* spp.) y la roya blanca (*Albugo* spp.). Predecir la emergencia de las mismas a partir de la recolección automática de datos climáticos (temperatura y humedad relativa ambiente) en invernadero con manejo agroecológico, permitiría abordar preventivamente dichas enfermedades generadas por hongos y pseudohongos, favoreciendo la aplicación temprana de bioinsumos. Desde el proyecto de I+D+i “Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernadero bajo manejo agroecológico” del LINTI-UNLP, se trabaja en esta problemática con un equipo

multidisciplinario conformado por especialistas en fitopatología vegetal, agroecología y agricultura familiar, informáticos e ingenieros. Específicamente este proyecto se desarrolla en las quintas de dos familias productoras de la Agricultura Familiar (AF) de la organización social “Manos de la Tierra”¹. Estas quintas están ubicadas en la localidad de Arana, a una distancia de 100 mts. aproximadamente entre ellas y desde el 2021 se encuentran transitando un proceso de transformación en su modo de producción, orientado al diseño y manejo de las quintas bajo los principios de la Agroecología, proceso que es acompañado por un equipo técnico en el marco de la experiencia de comercialización solidaria “La Justa”². Ambas quintas, en tierras alquiladas, combinan producción bajo invernáculo y a campo, en una superficie total de producción menor a 1,5ha.

Las primeras etapas del proyecto se enfocaron en: a) el diseño y construcción de nodos IoT para el sensado de datos microambientales a instalarse en los invernadero y, b) diseño e implementación de un modelo de comunicación de dichos nodos con el servidor central instalado en el LINTI donde se reciben, procesan y almacenan los datos. En estas etapas se plantearon desafíos propios de la zona productiva del periurbano platense relacionados con la escasa cobertura de la red LoRaWAN en la zona y la falta de energía eléctrica en los invernaderos. A continuación se describe el marco conceptual con el que se está trabajando desde el proyecto, el diseño inicial de la infraestructura tecnológica, las limitaciones encontradas, las propuestas de solución y las conclusiones a las que se arribaron en esta etapa de desarrollo.

2 Marco conceptual

El marco conceptual del proyecto de I+D+i “Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernadero bajo manejo agroecológico” en el cual se contextualiza el trabajo aquí presentado, se construyó a partir de conceptos de la agroecología sobre el enfoque en el tratamiento de enfermedades en los cultivos y las tecnologías IoT apropiadas para la detección temprana de dichas enfermedades en quintas de la agricultura familiar y la aplicación de bioinsumos. Para ello esta sección se organiza en las siguientes dos subsecciones.

2.1 Enfoque de la agroecología en el tratamiento de enfermedades en cultivos

La descripción y la cuantificación del ciclo de una enfermedad es la base fundamental de la epidemiología vegetal y constituye una herramienta muy importante para el manejo eficiente de los cultivos [1]. El poder predecir cuándo una enfermedad aumentará a un umbral que cause pérdidas económicamente significativas, constituye uno de los usos más importantes de la epidemiología vegetal [2]. La ausencia de resistencia genética lleva a menudo a que los agricultores deban depender del uso de agroquímicos sintéticos para la protección de cultivos y de esta forma evitar la reducción de rendimiento y calidad de las cosechas [3].

¹ “Manos de la Tierra” es una organización social de familias productoras de la agricultura familiar de La Plata.

² Portal de comercialización de “La Justa”: <https://www.lajustaunlp.com.ar/>

Mónaco en [4] señala que las condiciones necesarias para el desarrollo de una enfermedad son, una cepa virulenta de un agente patógeno (hongo, bacteria o virus), un huésped susceptible (cultivo) a esta cepa que se distribuye ampliamente en una región y condiciones ambientales adecuadas para la infección, colonización y reproducción de un agente patógeno. En este sentido, la intensificación de la agricultura basada en un manejo convencional incluye varias prácticas que favorecen la enfermedad de las plantas, entre las cuales la autora menciona: el aumento en la densidad de los cultivos hospedantes, la disminución de la diversidad de especies llegando al extremo de monocultivos en grandes extensiones, la falta de rotaciones y el alto uso de fertilizantes de síntesis química, riego y otras modificaciones ambientales del cultivo. Desde esta lógica las enfermedades se controlan con altas dosis y frecuencias de aplicación de fungicidas sintéticos.

Desde un manejo agroecológico la lógica de “control de enfermedades” es reemplazada por el “manejo de enfermedades”, que trata de regular a los organismos fitopatógenos y no de erradicarlos, y su concepto está estrechamente ligado al de “umbral de daño económico” lo cual implica un proceso continuo de eventos consistentes en la selección y uso de técnicas orientadas a reducir las enfermedades a un nivel tolerable. Uno de los principios de la agroecología se vincula con fortalecer la agrobiodiversidad que permite reemplazar los insumos de síntesis química por el adecuado funcionamiento de los procesos ecológicos como el control biológico de plagas y enfermedades. Este manejo orientado al diseño del agroecosistema se complementa con el uso de bioinsumos para el manejo de adversidades (plagas, enfermedades y malezas) ya que representan opciones económicamente atractivas y ecológicamente aceptables [5]. Un bioinsumo es un producto basado en compuestos y/o extractos de microorganismos o plantas, o de microorganismos vivos, capaces de mejorar la productividad (o rendimiento), calidad y/o sanidad al aplicarlos sobre cultivos vegetales, sin generar impactos negativos en el agroecosistema [6]. Por lo general, el efecto de los bioinsumos es de tipo preventivo, por lo tanto, se requiere entender entre otros aspectos, cuáles son las condiciones micro ambientales que favorecen la aparición de enfermedades para poder contar con el tiempo suficiente que permita eficientar su aplicación y acción.

A partir del enfoque de “manejo de enfermedades” que plantea la agroecología, el el proyecto “Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernadero bajo manejo agroecológico” propone el desarrollo de una herramienta adaptada a las condiciones locales de la agricultura familiar, de bajo costo y que colabora en la toma de decisiones para mejorar la aplicación de bioinsumos. En este sentido, existen varios estudios que destacan la importancia de respaldar la toma de decisiones de manejo de los cultivos con modelos predictivos, para ayudar a los productores a evaluar y pronosticar el riesgo de enfermedades y la necesidad de intervención [7][8][9].

2.2 IoT en la agricultura familiar

La “Internet de las cosas”, o IoT, por sus siglas en inglés, es un sistema de dispositivos electrónicos interconectados con capacidad de recopilar y transferir datos a través de una red inalámbrica sin intervención de personas. El objetivo de IoT es ampliar la

conectividad a casi todos los objetos (cosas) que se encuentran en el espacio físico y a partir de ello desarrollar nuevas aplicaciones en múltiples campos de conocimiento entre ellos la Agricultura[10]. El camino hacia una “agricultura inteligente” busca nuevas soluciones para mejorar la productividad agrícola mediante soluciones basadas en IoT, entre ellas la detección temprana de anomalías o enfermedades en los cultivos, tema de interés del proyecto en el que se inscribe este trabajo [11]. En este sentido, el monitoreo continuo ofrece varias ventajas, entre ellas la detección temprana de enfermedades identificando signos de enfermedades en los cultivos de hojas en etapas iniciales antes de que los síntomas sean visibles a simple vista y poder intervenir de manera oportuna con medidas preventivas o tratamientos específicos. Además, permite una aplicación precisa y eficiente de bioinsumos, como fertilizantes orgánicos o biopesticidas. Al conocer el estado de las plantas de forma continua, es posible ajustar las dosis y los momentos de aplicación de los bioinsumos según las necesidades específicas de los cultivos, evitando el desperdicio y maximizando su efectividad, por lo que el uso adecuado de los mismos pueden contribuir a la producción de cultivos más sanos y de mayor calidad.

Los sensores son componentes fundamentales en proyectos de IoT debido a su capacidad para capturar datos del entorno físico y convertirlos en información digital. Estos dispositivos permiten monitorear y medir una amplia gama de variables, como temperatura, humedad, presión atmosférica, movimiento, entre otros. Esta información es esencial para tomar decisiones informadas en tiempo real, optimizar procesos, mejorar la eficiencia y la calidad de vida, así como para habilitar servicios y aplicaciones inteligentes.

El concepto de red de datos de bajo consumo de energía, característica esencial en IoT, es crucial para las soluciones tecnológicas que requieren recabar datos en sitios alejados de las grandes ciudades o en donde la cobertura de Internet no llega o es deficitaria, como es el caso de gran parte del periurbano platense. Entre las tecnologías de comunicación inalámbrica para las redes IoT, disponibles en Argentina y adecuadas para la aplicación en el campo de conocimiento de la Agricultura, se encuentran Sigfox, GSM y LoRaWAN, las cuales ofrecen una cobertura de largo alcance [10].

La tecnología de comunicación inalámbrica LoRa (acrónimo de Long Range) combina un consumo de energía muy bajo con un largo alcance efectivo, por lo tanto, ofrece una solución adecuada para conexiones a grandes distancias y para redes de IoT conformadas por sensores que no disponen de corriente eléctrica de red para su alimentación. En este sentido las aplicaciones de IoT para la agricultura representan un desafío desde el punto de vista de la producción de alimentos, en particular para el problema planteado en este proyecto, al agregar inteligencia a los nodos LoRa. Existen múltiples antecedentes de uso de redes LoRaWAN en la producción agropecuaria y en invernaderos concretamente [12][13][14]. En estos trabajos se señalan las ventajas ofrecidas por este tipo de tecnología de red para entornos inalámbricos de área amplia: comunicaciones de largo alcance manteniendo el bajo consumo de energía (2km a 5km en entornos urbanos y hasta 15km en zonas despejadas); operación en bandas de frecuencias no licenciadas (ISM) como 915MHz [15]; servicios de red para confirmación de mensajes, encriptación, multicasting y activación/registro en la red “over the air”, no presentando limitaciones en el número de paquetes transferidos. Por otra parte, los costos de despliegue y operación son bajos en comparación con otras

tecnologías similares, como las mencionadas, y al igual que la disponibilidad de equipos y operadores en el mercado.

Desde el punto de vista de infraestructura tecnológica y de comunicación disponible en la ciudad de La Plata para sensado automático de datos ambientales, la red LoRaWAN es un servicio que la UNLP obtiene sin costo por medio de un convenio con la empresa YEAP. Esta capacidad permite el despliegue con infraestructura propia y la reducción de costos operativos recurrentes, resultando una opción apropiada para el desarrollo de proyectos como el descripto [16].

3 Diseño preliminar de una solución IoT

El diseño inicial de la solución para la problemática antes descripta se organizó en tres etapas: la primera, de carácter diagnóstico, consistió en un estudio de factibilidad de la cobertura de la red LoRaWAN, desplegada por la empresa YEAP, en la zona donde se desarrolla el proyecto; la segunda, abarcó el diseño y construcción de un nodo IoT en función del resultado de la primera etapa y, la tercera, que se fue desarrollando en paralelo con las anteriores, consistió en el análisis y diseño de una estrategia de energización de los nodos IoT. A continuación se describen las tres etapas.

3.1 Etapa 1: Estudio de factibilidad de comunicación

El estudio de factibilidad realizado al comienzo del proyecto dio como resultado el uso de la red LoRaWAN como tecnología válida para la comunicación de datos. Para dicho estudio se construyó un nodo de prueba compuesto por un placa Adafruit Feather M0 RFM95 que se conectaba con alguna de las antenas de la red LoRaWAN desplegada en la ciudad de La Plata. La metodología utilizada para la realización de las pruebas de transmisión consideró:

- La ubicación del nodo de prueba en diferentes puntos de medición geolocalizados en los invernaderos: las pruebas de conectividad se realizaron en los puntos indicados en la Fig. 1. con el propósito de determinar la mejor ubicación del nodo en relación a la calidad de transmisión y la cercanía del cultivo a estudiar.
- La frecuencia de la toma de datos: las pruebas de conectividad se realizaron en dos días diferentes en las quintas y en distintos puntos dentro de los invernaderos.
- El tiempo de medición: las tomas de datos se realizaron durante cinco minutos en cada uno de los puntos de transmisión.



Fig. 1. Geolocalización de los puntos de medición del nodo de prueba en los invernaderos

El resultado de las mediciones realizadas se describen en la Tabla 1. A pesar que los datos obtenidos dan cuenta de paquetes que llegan a destino con señales cercanas al umbral de sensibilidad o intensidad de señal recibida mínima permitida (RSSI), la cantidad de los mismos resultó aceptable para los fines del proyecto. Como se puede observar en la misma tabla la zona correspondiente a las filas amarillas presenta la mejor calidad de transmisión (valores de RSSI alejados de -129 dBm) y por lo tanto resultó la zona seleccionada para la implantación del nodo LoRa.

Tabla 1. Medición de paquetes transmitidos durante las pruebas preliminares: los colores indican mediciones en diferentes zonas dentro de un invernadero.

Dirección	Día hora	RSSI (dBm)
Up	6/9/22 16:00	-122
Up	6/9/22 15:58	-125
Up	6/9/22 15:57	-120
Up	6/9/22 15:40	-121
Up	6/9/22 15:39	-121
Up	6/9/22 15:39	-124
Up	6/9/22 15:37	-122

Up	6/9/22 15:23	-124
Up	6/9/22 15:23	-128
Up	6/9/22 15:22	-129
Up	6/9/22 14:52	-129
Up	6/9/22 14:51	-123
Up	6/9/22 14:40	-118
Up	6/9/22 14:39	-113
Up	6/9/22 14:38	-113
Up	6/9/22 14:37	-114
Up	6/9/22 14:36	-119

3.2 Etapa 2: Construcción del nodo LoRa

A partir del resultado del estudio de factibilidad se diseñó y construyó un nodo LoRa para instalarse en los invernaderos, como se muestra en la Fig. 2.. El nodo está compuesto por un microcontrolador ESSA-IOT 5.0 con antena de 915 MHz 5dbi SMA, dos módulos DHT22 (sensores de temperatura y humedad ambiente), un step-down 12 V - 3,5 V y una batería de gel de 12V para alimentar el nodo. Todos los elementos fueron dispuestos en una estructura con sus respectivas cajas de protección.



Fig. 2. Nodo LoRa de sensado de datos microambientales a instalarse en los invernaderos.

A través del nodo IoT y por medio de la red LoRaWAN del proveedor del servicio disponible en la ciudad de La Plata los datos sensados son transmitidos a un servidor del LINTI, como se describe en la Fig. 3.

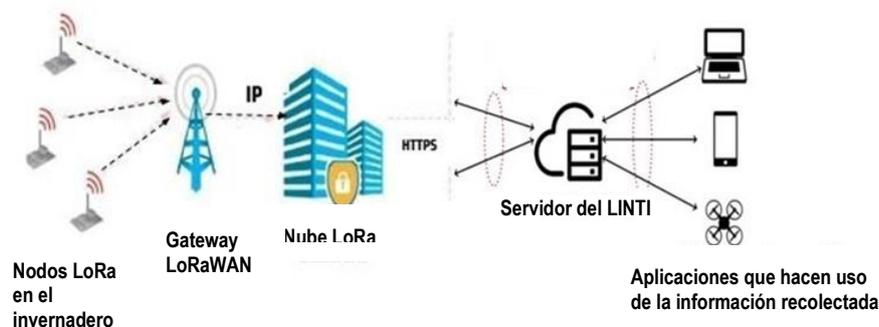


Fig. 3. Arquitectura de comunicación del diseño preliminar de la solución IoT

Se repitieron las pruebas de conectividad en las quintas con el nodo LoRa construido y se comprobó que la cobertura de la red LoRaWAN varió respecto de las pruebas iniciales realizadas durante el estudio de factibilidad, no disponiendo de conectividad en la zona. Esto se debió a equipos dañados que ofrecían la cobertura en el área y no fueron reemplazados hasta el momento, cercanos a la zona de estudio. Esta situación planteó el primer desafío a resolver: rediseñar la arquitectura de red.

3.3 Etapa 3: Energización de los nodos IoT

En los invernaderos no se dispone de acceso a electricidad y la distancia entre los mismos y las casas de las familias productoras varía entre 150 metros y 400 metros, por lo cual resulta inviable el uso de un cableado eléctrico. Durante el desarrollo del diseño preliminar se analizaron las posibles estrategias para energizar los nodos LoRa construidos. Se decidió utilizar baterías tipo gel de 12 V por ser la alternativa más económica, de fácil adquisición dada su disponibilidad en el mercado y así disponer del nodo operativo en un lapso breve de tiempo.

Por otra parte, con la intención de prolongar la utilidad de la batería y evitar cambios frecuentes en el nodo, con las dificultades operativas que ello conlleva, se trabajó en la optimización del consumo de la misma a nivel de la rutina de transmisión. Las pruebas realizadas consistieron en:

- Uso de la librería RTCZero de Arduino: esta librería permite programar una alarma para despertar un nodo en un momento específico. Durante la ejecución de esta función, se bloquea el sistema para ahorrar energía. Además, para optimizar el consumo de energía, se apaga la transmisión LoRa mediante la desconexión del módulo RN2903 de la placa.
- Pruebas con la librería ArduinoLowPower: esta librería permite apagar el microcontrolador principal de la placa de desarrollo, un Cortex M0+ SAMD21, durante períodos de inactividad, estas pruebas determinaron que la librería ArduinoLowPower no era compatible con la placa, dado que no fue posible iniciar la alarma para reactivar el nodo.

- Chequeos y mediciones de la batería con diferentes tiempos de transmisión y modos de bajo consumo de la placa para determinar la duración de batería: estas pruebas no fueron concluyentes debido a que las medidas de voltaje no eran congruentes, esto debido a la naturaleza de la batería de gel, sin embargo se estimó que podría proporcionar una autonomía de alrededor de 1 mes. Esta hipótesis acerca de la duración de la batería se consideró aceptable para el recambio o recarga de la misma.

Las pruebas in-situ mostraron un comportamiento errático del tiempo de duración de la batería, siendo el tiempo de duración de 18 días, muy por debajo del mes estimado de duración. Además luego de las sucesivas recargas la autonomía de la batería disminuye notoriamente, si bien esto es normal en todo tipo de baterías, en el caso de las baterías gel resultó más evidente.

Esta situación planteó el segundo desafío a resolver: diseñar una nueva estrategia de alimentación eléctrica para lograr un nodo con mayor autonomía.

4 Rediseño de la solución IoT

A partir de los problemas encontrados en el diseño preliminar se decidió rediseñar la arquitectura de comunicación buscando remediar los problemas detectados con la transmisión de datos y dotar de una estrategia de alimentación eléctrica del nodo a partir de energías renovables para mejorar la autonomía del nodo.

4.1 Etapa 1: Cambio de Arquitectura para la comunicación

Este rediseño descrito en la Fig. 5 presenta las siguientes características claves:

- Nodos LoRa en los invernaderos: se mantuvo la ubicación de los nodos LoRa en los invernaderos para recopilar datos sobre variables ambientales relevantes, como temperatura, humedad, luz, y otros factores críticos para el crecimiento de las plantas. Esta ubicación cercana a los cultivos garantiza mediciones precisas y en tiempo real.
- Gateway LoRaWAN local: se optó por desplegar una red LoRaWAN ad-hoc para el proyecto, dado que la red pública a la que se tenía acceso ya no estaba operativa en la zona. Para ello se introduce un gateway LoRaWAN instalado en las casas de las familias productoras, que actúa como punto central para recibir los datos de los nodos LoRa ubicados en los invernaderos. En el mismo se configura un network server embebido, para la autenticación de dispositivos y forwarding hacia los servidores de aplicación del LINTI. Este gateway transmite los datos recopilados a través de una conexión Ethernet con salida a Internet a los servidores mencionados para su posterior procesamiento y análisis. En la Fig. 4 se muestra el Gateway LoRaWAN instalado en la casa de la familia productora.



Fig. 4. Gateway LoRaWAN instalado en el frente de la casa de la familia productora.

- Adquisición e instalación de un Gateway³ LoRaWAN en la casa de las familias productoras: este equipo garantiza una correcta cobertura de los sensores instalados en los invernaderos que se están estudiando y nuevos de otras familias productoras de la misma zona.
- Recepción y visualización de datos en el servidor del LINTI: una vez que los datos son recibidos en el servidor del LINTI son visualizados por la aplicación Grafana, como se describe en la Fig. 6.

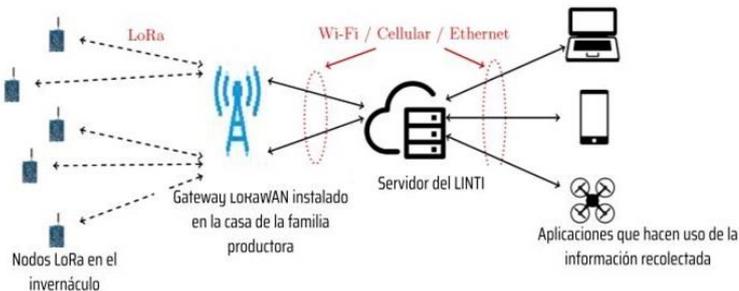


Fig. 5. Rediseño de la arquitectura de comunicación.



Fig. 6. Recepción de los datos con la arquitectura de comunicación.

³ Marca y modelo del Gateway adquirido: Milesight Indoor UG65 - Ethernet, WiFi, PoE, protección IP65

4.2 Etapa 2: Energización de los nodos

En cuanto al problema descripto en el inciso 3.3 acerca de la alimentación eléctrica de los nodos, se decidió usar tecnologías de energización sustentable como paneles solares. Por ello se adquirió un kit solar, como se muestra en la Fig. 7, compuesto por un panel solar, un regulador de carga de batería y una batería con el propósito de mantener su carga, lograr mayor autonomía del nodo LoRa y reducir significativamente los períodos de intervención humana vinculados al recambio de las baterías.

En relación a la eficiencia de la rutina del nodo, se plantea continuar con pruebas de optimización de bajo consumo, para prolongar la vida útil de la batería y así maximizar la autonomía del nodo.



Fig. 7. Kit solar compuesto por un panel solar, un regulador de carga y una batería.

5 Conclusiones

El desarrollo del proyecto “Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernadero bajo manejo agroecológico” en el que se inscribe el trabajo aquí presentado enfrentó al equipo de trabajo ante situaciones problemáticas inesperadas que representaron desafíos tecnológicos propios de zonas de los periurbanos, que a pesar de estar próximos a urbes no disponen de servicios de comunicación de calidad aceptable sumado a instalaciones domiciliarias precarias del servicio de alimentación eléctrica.

Esta realidad requirió del rediseño del modelo de comunicación inicialmente propuesto, basado en un enfoque cuya conectividad no dependa exclusivamente de la cobertura de la red LoRaWAN de la ciudad de La Plata.

Se decidió trabajar en el diseño e implementación de una arquitectura de comunicación modular que no solo facilite la escalabilidad, sino también que posibilite la adaptación a diferentes configuraciones de invernaderos, optimizando la eficiencia en la recolección y transmisión de datos, aprovechando la conectividad a Internet de las familias productoras. La descentralización a través de la instalación de múltiples gateways LoRaWAN en las casas de las familias productoras, contribuye a una gestión más eficiente y a la expansión de la red, no implicando costos extras en la tarifa de Internet de las familias y permitiendo abordar áreas más extensas de manera efectiva.

La problemática de la deficiente autonomía de las baterías que alimentan los nodos y la inviabilidad de recambios frecuentes en periodos breves de tiempo, planteó como primera aproximación a una solución aceptable la modificación de la rutina de consumo

de energía del nodo LoRa. Sin embargo, al no contar con equipamiento específico para medir micro-consumos de dispositivos electrónicos se complejizaron el desarrollo y las pruebas de dicha rutina, las cuales debieron hacerse empíricamente y cuyos resultados no fueron concluyentes.

En la búsqueda de una solución sustentable en el tiempo y amigable con el medio ambiente se adquirió un kit solar y se comenzaron a realizar las primeras pruebas de alimentación de la batería con el mismo, en un entorno controlado en el LINTI. Se espera que el kit solar, en una etapa posterior del proyecto, permita alimentar más de un nodo en un mismo invernadero.

Además, las optimizaciones en la rutina de transmisión de datos del nodo LoRa al gateway LoRaWAN indoor instalado en la casa de la familia, sumado a la alimentación constante de la batería mediante un panel solar y el cambio de la placa microcontroladora⁴, es de esperar que resulte en un nodo LoRa más autónomo y con escasa pérdida de datos llevándonos a encauzar este proyecto basado en IoT satisfactoriamente y con buenas perspectivas de lograr mejorar el proceso de producción de la agricultura familiar en el periurbano platense.

Una vez resuelto los desafíos tecnológicos descriptos se comenzará a trabajar en el monitoreo y análisis de los datos atmosféricos que se vayan recolectando, permitiendo la construcción de variables de análisis que nos lleven a identificar las condiciones ambientales que podrían favorecer la aparición de las enfermedades foliares en los cultivos y de esta manera planificar la aplicación de bioinsumos para lograr un manejo aceptable de dichas enfermedades.

Referencias

1. De Wolf, E.D and Isard, S.A: Disease cycle approach to plant disease prediction. Annual Review of Phytopathology. 45(9):1-18 (2007)
2. Campbell, C.L. and Madden, L.V.: Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons, New York, (1990)
3. Shah D.A., Paul P.A., De Wolf E.D. and Madden L.V.: Predicting plant disease epidemics from functionally represented weather series. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2019; 374 (1775):20180273. doi:10.1098/rstb.2018.0273 (2019)
4. Mónaco C.: Principios de manejo ecológico de enfermedades de cultivos. En: SJ Sarandón & CC Flores (ed.) Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Capítulo 12: 315-341 (2014). Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.
5. Mamani de Marchese, A. y Filippone, M.P.: Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. Revista agronómica del noroeste argentino, 38(1), 9-21. (2018)
6. Duke S.: Pest Management Science 2017 74 (1): 7-8 (2018).
7. Madden L.V., Hughes G. and van den Bosch F.: The study of plant disease epidemics. St. Paul, MN: APS Press. (2007)
8. Hughes G.: The evidential basis of decision making in plant disease management. Annu. Rev. Phytopathol. 55, 41–59 (2017)
9. Shah D.A., Paul P.A., De Wolf E.D. and Madden L.V.: Predicting plant disease epidemics from functionally represented weather series. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2019; 374(1775):20180273 (2019)

⁴ Modelo de la placa adquirida: EESA-IOT SAMR35 PLACA CARRIER V1 MODULO EESAMR35

10. Aly M., Khomh F., Guéhéneuc Y., Washizaki H. and Yacout S.: Is Fragmentation a Threat to the Success of the Internet of Things?, IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, pp. 472–487 (2019).
11. Pagano A., Croce D., Tinnirello I.y Vitale G.: A Survey on LoRa for Smart Agriculture: Current Trends and Future Perspectives. En: IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, Vol. 10, No. 4, (2023)
12. Mezouari A., Elkarch H., Haoul C., Dahou H., Elgouri R.: LoraWAN-based intelligent multi-greenhouse monitoring and control. E3S Web of Conferences 469, 00087 (2023). https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/106/e3sconf_icegc2023_00087.pdf
13. Singh R.K., Aernout M., De Meyer M., Weyn M., Berkvens R.: Leveraging LoRaWAN Technology for Precision Agriculture in Greenhouses. Sensors 2020. 20(7):1827 (2020) Disponible en <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/7/1827>.
14. Septafiansyah Dwi Putra, Catherine Olivia Sereati, Hery Sutrisno. “Design of IoT Monitoring System Based on LoRaWAN Architecture for Smart Green House”. 2022,IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1012 012090. Disponible en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1012/1/012090/meta>
15. LORA Alliance, <https://www.lora-alliance.org>
16. Candia A.; Lo Grasso F.; Fava L.; Represa S.; Diaz J.; Vilches D.: LoRaWAN IoT Solutions for SmartCities. Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS), Granada, Spain, pp. 265-269 (2019).