

## **Predicción automática de enfermedades foliares en cultivos de hoja producidos en invernáculos bajo manejo agroecológico**

Proyecto de I+D+i - 2023

### **Responsables**

Néstor Castro, Claudia Queiruga, Matías Pagano y Agustín Candia.

### **Asesoras profesionales**

Marina Stocco (JTP de la cátedra Fitopatología, FCAyF), Jorgelina Roller (Ayudante diplomada de la cátedra Fitopatología, FCAyF) y Agustina Gargoloff (Ayudante diplomada de la cátedra de Agroecología, FCAyF e integrante del equipo técnico de “La Justa”).

### **Becarios**

Markos Moscoso Ocampo, estudiante avanzado de Ingeniería en Computación

Agustín Cao, estudiante avanzado de Ingeniería en Computación

### **Fundamentación**

El interés en estudiar las enfermedades foliares se debe a que son endémicas en cultivos de hoja del periurbano platense, ejemplo 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 invernáculos con manejo agroecológico, permitiría abordar preventivamente dichas enfermedades generadas por hongos y pseudohongos, favoreciendo la aplicación temprana de bioinsumos.

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 (de Wolf e Isard, 2007). 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 (Campbell y Madden, 1990). Muchas veces 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 (Shah et al., 2019). De esta manera, la detección temprana de las enfermedades permite reducir la cantidad de agroquímicos de origen sintético, fomentar la eficiencia en los recursos disponibles y la preservación del medio ambiente.

Mónaco (2014) 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 (Mamani de Marchese y Filippone, 2018). 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 (Duke, 2018). 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 y eficientizar su aplicación y acción. En este sentido, el desarrollo de este proyecto se transforma en 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 todo lo cual repercute en el manejo de enfermedades desde el enfoque de la Agroecología. Por otra parte, existen varios estudios que destacan la importancia de respaldar la toma de decisiones de manejo de los cultivos, con los modelos predictivos para ayudar a los productores a evaluar y pronosticar el riesgo de enfermedades y la necesidad de intervención (Madden et al., 2007; Hughes, 2017; Shah et al., 2019).

El concepto de red de datos de bajo consumo de energía es fundamental para aquellas 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. LoRa (acrónimo de Long Range) es una tecnología de comunicación inalámbrica que 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 el campo de conocimiento de 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. Por otro lado, el camino hacia una “agricultura inteligente” busca nuevas soluciones para mejorar la productividad agrícola mediante arquitecturas IoT resultando esto beneficioso para la detección de anomalías o enfermedades en los cultivos, tema de interés en este proyecto (Pagano A., Croce D., Tinnirello I. y Vitale G. , 2023).

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.

## Antecedentes

El propósito de los modelos de prevención de enfermedades de cultivos es prevenir el inicio o el desarrollo futuro de enfermedades a partir de información acerca del clima, hospedante, o patógeno. Este concepto es amplio y suficiente para incluir desde los sofisticados programas de computadora hasta los simples que relacionan, por ejemplo, infección con horas de mojado foliar (Costa et al., 2002).

En el sentido que se plantea este proyecto, se consideran antecedentes relevantes sobre el tema:

- En Brasil, el equipamiento Colpan, diseñado para recolectar parámetros ambientales que sirve de auxilio en la previsión de enfermedades de varios cultivos. Este equipo contiene un sensor de humedad foliar y otro de temperatura, que son fijados junto a la planta. Almacena y procesa la información de acuerdo con tablas que calculan el valor diario de severidad, indicando cuándo se debe realizar la primera aplicación para controlar la enfermedad (Becker, 2010).
- En Estados Unidos, un modelo de previsión de riesgo de la fusariosis del trigo, es ejecutado en tiempo real en Internet. Para correr el modelo, el usuario provee un dato de floración promedio del cultivo. El modelo utiliza datos horarios de estaciones meteorológicas distribuidas en diversos estados del país, generando categorías de riesgo en escala de colores, a través de la interpolación de resultados. Por medio de un sitio en Internet, el usuario identifica la posición de su región en un mapa, verificando el grado de ocurrencia de una epidemia (Canteri *et al.*, 2004).

- En Argentina, se lleva adelante el modelo de prevención de la enfermedad roya asiática de la soja, que tiene en cuenta las condiciones ambientales temperatura diurna y nocturna, humedad relativa con mínimo de 6 hs de rocío, alternancia de lluvias con períodos secos, etc. (Ivancovich, 2011; Plopper 2006; Plopper, 2014). Estas condiciones son registradas en estaciones meteorológicas que son enviadas al SiNaViMo (Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo), estas condiciones favorecen la germinación de las esporas y además, se utilizan trampas cazaesporas, en los cultivos. Los monitoreos se realizan en el marco del Programa Nacional de Roya de la Soja, ejecutado en forma conjunta entre la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (Sagpya), y Senasa, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Estación Obispo Colombres de Tucumán (Senasa Comunica).

El proyecto aquí presentado da continuidad al proyecto desarrollado en 2022, en el marco de la convocatoria “Proyectos de innovación con estudiantes” de la Facultad, cuyo objetivo fue abordar el manejo preventivo de enfermedades foliares generadas por hongos y pseudohongos, en cultivos producidos en invernáculos bajo manejo agroecológico en la región del periurbano platense, a partir del sensado automático de las condiciones medioambientales de los invernáculos, mediante el uso de tecnologías IoT. Específicamente, en dicho proyecto se trabajó con dos productoras de la Agricultura Familiar (AF) de la organización social “Manos de la Tierra” que producen en sus quintas con manejo agroecológico. Las mismas están localizadas en la zona de Arana, en la calle 137 y 610 (100 mts. aproximadamente entre una y otra quinta). Se toman como punto de partida los resultados obtenidos en el proyecto desarrollado en 2022, que se detallan a continuación:

**Diseño y construcción de un nodo IoT para el sensado de temperatura y humedad medioambiental en los invernáculos:** el nodo IoT construido está basado en la plataforma de desarrollo LoRaWAN ESSA-IOT 5.0 de Elemon, cuenta con sensores DHT11/DHT22, una antena 915 MHz 5dbi SMA, una batería de gel de 12V como fuente de alimentación y un regulador Step-Down. El nodo fue colocado en una caja estanca del tipo IP 65, los sensores se protegieron debidamente para que no se vieran afectados por agentes externos como polvo, condensación de agua, etc. El sensado de temperatura y humedad se tomó en dos alturas diferentes: uno a 30 cm sobre el nivel de la base del cultivo (para el sensado sobre la hoja) y otro en la parte superior de la estaca. La figura 1 presenta imágenes del nodo construido y puesto a funcionar en el invernáculo para prueba de conectividad LoRa.



Figura 1 - Nodo IoT construido y puesto para testeo de conectividad en la quinta

**Insuficiente nivel de señal para la transmisión de datos desde el nodo LoRa instalado en la quinta:** el nivel de conectividad LoRa resultó insuficiente, las pruebas de transmisión realizadas arrojaron 2 datos en un intervalo de tiempo de un día (en el mejor de los casos). Se hicieron ajustes en el nodo, como intentar transmitir desde diferentes puntos y cambiar la posición del nodo dentro de la quinta, sin embargo el nivel de transmisión no mejoró sustancialmente y la cantidad de datos obtenidos no son suficientes para modelar situaciones de riesgos de enfermedad de los cultivos. Este resultado permite concluir que la red LoRaWan de la UNLP no nos está dando una buena cobertura dado que en la zona de Arana, donde se está desarrollando el proyecto, no se tiene buena cobertura de otras tecnologías de comunicación. Con lo cual es necesario **rediseñar el modelo de comunicación** y evaluar alternativas que permitan implementar un enfoque más local que no dependa únicamente del alcance de la red LoRaWan y la distancia a su antena de recepción. En este sentido incorporar un equipo repetidor (gateway) permitirá ampliar la cobertura de LoRaWan a otros equipos en toda la zona productiva del periurbano platense. A diferencia de otras redes para IoT, como Sigfox o NBIOT, con LoRaWAN se puede desplegar una red propia sobre infraestructura ya existente, en este caso la conexión WiFi de la casa de las productoras, sin caer en otros gastos recurrentes.

**Escasa autonomía de la energización del nodo:** otro problema que se evidenció fueron las formas de energizar el nodo LoRa, debido a que en los invernáculos no hay acceso a electricidad y la distancia entre los invernáculos y las casas de las productoras es de aproximadamente entre 150 metros y 400 metros. Se utilizaron baterías de gel de 12V cuya duración no superó los 30 días. Para determinar la duración de la carga de las baterías se realizaron las siguientes pruebas de bajo consumo del microprocesador: se usó la librería RTCZero de Arduino, para programar una alarma que despierte al nodo, y la librería ArduinoLowPower, para apagar el microcontrolador principal de la placa de desarrollo y, se realizaron mediciones de la batería con diferentes tiempos de transmisión y modos de bajo consumo de la placa.

La recarga frecuente de las baterías, es un aspecto a considerar en el rediseño del nodo y en este punto el **uso de tecnologías de energización sustentable como paneles fotovoltaicos**, resulta en un punto a trabajar en el proyecto. El estudio del consumo de batería es un tema a retomar en el presente proyecto con el objetivo de minimizar el consumo de energía y ganar autonomía.

## Objetivo General

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 invernáculos, mediante el uso de tecnologías IoT.

## Objetivos Específicos

- Rediseñar el modelo de comunicación entre el o los nodos LoRa ubicados en los invernáculos y el servidor concentrador de datos alojado en el LINTI, basado en un enfoque cuya conectividad no dependa exclusivamente de la cobertura de la red LoRa de la ciudad de La Plata.
- Comprobar la precisión de los datos meteorológicos sensados.
- Evaluar tecnologías de alimentación de las baterías que energizan el nodo LoRa.
- Construir variables de análisis, a partir de la recolección y visualización de los datos meteorológicos sensados, para identificar las condiciones ambientales que podrían favorecer la aparición de las enfermedades buscadas.
- Sentar las bases para el desarrollo de un modelo matemático predictivo de las enfermedades buscadas en los cultivos, a partir de los datos sensados y las variables de análisis, que contemple categorías de riesgo de las mismas.

## Plan de actividades y Metodología

### **Etapas 1:** Rediseño del modelo de comunicación y de alimentación eléctrica del nodo

- Despliegue de un gateway LoRaWAN en la zona de producción, para contar con una mejor cobertura.
- Evaluación de las prestaciones de diferentes microprocesadores LoRa para el armado de una red local de nodos IoT, de bajo costo, ubicados en los invernáculos.
- Evaluación de la factibilidad de uso de los paneles fotovoltaicos para energizar las baterías de los nodos de manera autónoma.



- Programación de los nodos LoRa para medir el consumo de las baterías y seleccionar el modo que mejor se adecúe a la autonomía y al bajo consumo del nodo.
- Evaluación del modelo de comunicación.

**Etapla 2:** Pruebas de confiabilidad de los datos sensados

Contrastar los datos meteorológicos obtenidos del sensado automático con los registros de un termómetro ubicado en el invernáculo y de una medida patrón de temperatura y humedad medioambiental.

**Etapla 3:** Selección de cultivos y enfermedades a estudiar (esta etapa puede hacerse en paralelo a las previas)

- Realizar encuentros entre las productoras y el equipo técnico del proyecto con el objetivo de determinar el/los cultivos y enfermedades a estudiar. En este punto resulta relevante considerar que la medición de la temperatura y humedad microambiental por sí solo no es determinante para la formación de las enfermedades foliares, dado que los patógenos pueden provenir de diferentes fuentes de inóculos (suelo, plantines, semillas, malezas, cultivos vecinos, rastrojos, etc). Factores como la biodiversidad del invernáculo podrían contribuir o no a la aparición de las enfermedades.
- Realizar entrevistas a las productoras con el objetivo de recopilar información sobre la historia de los lotes e invernáculos respecto a los cultivos y enfermedades que se presentaron, en años anteriores. Esto permitirá contar con información completa de los cultivos en el lugar y caracterizar el problema.

**Etapla 4:** Construcción de variables de análisis a partir de los datos sensados automáticamente

Se trata de una fase exploratoria cuyo objetivo es identificar indicios de posible aparición de las enfermedades, mediante la toma de muestras de datos microambientales durante diferentes intervalos de tiempo y su visualización en Grafana para analizar las condiciones ambientales y su correlación con las enfermedades.

**Etapla 5:** Diseño de un primer modelo matemático predictivo de enfermedades foliares

- Asociar la severidad de las enfermedades foliares con los parámetros de temperaturas y humedad recolectados a la altura del canopeo, para poder pronosticar la presencia de la enfermedad.
- Desarrollo de un tablero de monitoreo (portal web) que permita visualizar e interpretar el modelo desarrollado, categorías de riesgo y que recomiende bioinsumos cuando sea necesario.
- Evaluación del modelo matemático desarrollado, por parte de las productoras adoptantes y del equipo técnico.

**Etapla 6:** Difusión de resultados

Los resultados, discusiones y aportes hallados durante el desarrollo del proyecto, se publicarán en congresos locales e internacionales, como así también en espacios de difusión propios de la UNLP.

## Destinatarios y adoptantes

Los resultados que se obtengan de este proyecto serán transferidos a los grupos de IoT del LINTI, estudiantes de grado y posgrado de la Facultad de Informática, como así también a investigadores y estudiantes de áreas de conocimiento relacionadas a la Agronomía, específicamente de Agroecología y Agricultura Familiar. Por otro lado, es interés de este proyecto que la solución tecnológica a la que se arribe pueda ser adoptada por las productoras de las quintas con las que se trabajará en la instalación y pruebas del modelo de predicción.

## Monto solicitado

\$ 334.000

## Estimación de gastos

Para el desarrollo del proyecto es necesario disponer de:

- Dispositivo gateway LoRa.
- Placa LoRa del nodo de sensado.
- Sensores de humedad y temperatura.
- Panel solar y regulador de carga de batería para la alimentación del nodo.
- Becas para estudiantes avanzados

## Plazo estimado para la finalización del proyecto

12 meses

## Referencias

Becker, W. F. (2010). Validação dos sistemas de alerta Machardy e Colpam 40 para previsão da requeima do tomateiro. Em: Caçador, S.C. SummaPhytopathology. 36(3):210-215.

Campbell, C.L. and Madden, L.V. (1990) Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons, New York.

Canteri, M.G., Godoy, C.V., Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C. y Pavan, W. (2004). Aplicações da computação na fitopatologia. Revisão Anual de Patologia de Plantas. 12:243-285.



Costa L.C., Cintra de Jesús Junior W.; XRibeiro do Vale, F. (2002). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias: Universidad Nacional de Cuyo. 34, no. 1 (2002), p. 81-92.

De Wolf, E.D; Isard, S.A. (2007) Disease cycle approach to plant disease prediction. Annual Review of Phytopathology. 45(9):1-18.

Duke S. (2018). Pest Management Science in 2017. Pest Management Science 74 (1): 7-8.

Hughes G. 2017. The evidential basis of decision making in plant disease management. Annu. Rev. Phytopathol. 55, 41–59. ( 10.1146/annurev-phyto-080516-035342)

Ivancovich, Antonio (2011). En: Enfermedades de soja. Diagnóstico y Manejo.. - Editor/es: INTA. - Ediciones INTA. Pergamino. Páginas/s: 79.

Madden LV, Hughes G, van den Bosch F. 2007. The study of plant disease epidemics. St. Paul, MN: APS Press.

Mamani de Marchese, A., & Filippone, M.P.. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. Revista agronómica del noroeste argentino, 38(1), 9-21. Recuperado en 06 de marzo de 2023, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2314-369X2018000100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2018000100001&lng=es&tlng=es).

Mónaco C. (2014). 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. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>

Pagano A., Croce D., Tinnirello I. y Vitale G. (2023). A Survey on LoRa for Smart Agriculture: Current Trends and Future Perspectives. En: IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, Vol. 10, No. 4, 15 Febrero 2023.

Ploper, L. D.; 2014. - En: Importancia de las enfermedades que afectan las partes aéreas de las plantas de soja en la República Argentina. - Libro de Resúmenes del 3º Congreso Argentino de Fitopatología. 1ra ed. Tucumán. - Páginas/s: 560 - ISBN/ISSN: 978-987-24373-1-2

Ploper, L. D.; 2006. - En: Roya Asiática de la soja en América. El Libro. ÍNDICE. - Editor/es: EEAOC. - Estación Experimental Agroindustrial O. Colombres (EEAOC). - Páginas/s: 196

---

Senasa Comunica: <https://www.senasa.gob.ar/senasa-comunica/noticias/monitoreo-de-roya-de-la-soja>  
6/3/2023.

Shah DA, Paul PA, De Wolf ED, Madden LV. Predicting plant disease epidemics from functionally represented weather series. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2019 Jun 24;374(1775):20180273.