



Código: PVT-CAyT-06-2021

**“DESARROLLO DE UN KIT PARA LA
AUTOMATIZACIÓN DE LAS TRAMPAS DEL
PICUDO ALGODONERO Y TENDIDO DE REDES
LORAWAN APLICADO A SU MONITOREO Y
CONTROL EN CULTIVOS DEL ALGODÓN EN LA
ZONA DE SÁENZ PEÑA, CHACO”**

Director: VENTURINO, Gabriel Francisco

Integrantes: BIERZYCHUDEK, Marcos Eduardo;
MUSUMANO, Martin; SORIA, Juan Franco.

Año: 2024



Informe Final de Proyectos de Vinculación Tecnológica

Universidad Nacional de Moreno

Contenido

Identificación del proyecto	3
PARTE I - Informe de resultados para el repositorio digital institucional de acceso abierto de la UNM – Ley N° 26.899	5
1. Antecedentes y objetivos.....	5
2. Demandante y sector productivo	6
3. Actividades realizadas.....	7
4. Resultados y productos	7
5. Impacto.....	20

Identificación del proyecto

Código:	PVT-CAyT-06-2021
Tipo de proyecto ¹ :	PVT
Nombre completo del proyecto:	"Desarrollo de un kit para la automatización de las trampas del Picudo Algodonero y tendido de redes Lorawan aplicado a su monitoreo y control en cultivos del algodón en la zona de Sáenz Peña, Chaco"
Director/a:	Ing. Gabriel Venturino
Lineamiento prioritario ²	Electrónica y desarrollo tecnológico
Sub-línea prioritaria	Electrónica aplicada
Organismo financiador:	UNM
Convocatoria:	PVT - 2021
Contraparte:	Nombre: Asociación Argentina de Productores Algodoneros Domicilio: Corrientes 161, (3541) Coronel Du Graty, Chaco, Argentina Teléfono: +54-03735-488342 Autoridad-Responsable: Héctor Fabián Linke Dirección electrónica: contacto@aapa.ar
Fecha de inicio:	26/10/2021
Fecha de finalización:	25/10/2023
Unidad de localización: Departamento/centro/ Programa	Departamento de Ciencias Aplicadas y Tecnología. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica. Programa para la Investigación y el Desarrollo de la Electrónica Aplicada al Agro

¹ Tipos de Actividades de Vinculación y Transferencia Tecnológica (AVTT):

PVT: Proyectos de Vinculación y Transferencia

SAT: Servicios a terceros

SE: Servicios Estandarizados

² Según LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO 2022-2027 (Aprobado por Resolución UNM-CS N° 848/21)

http://www.unm.edu.ar/files/Lineamientos_Estrategicos_de_Investigacion_Cientifica_y_Desarrollo_Tecnologico_UNM_2022_2027_Oct_2021.pdf

Resumen: <i>máx. 300 palabras</i>	Los picudos algodonereros son insectos que afectan apreciablemente el cultivo del algodón en Argentina y en América. El Programa Nacional de Prevención y Erradicación del Picudo Algodonero propone distintas herramientas para el control de esta plaga con el objetivo de disminuir las pérdidas económicas. Una de ellas es la utilización de trampas cónicas, para principalmente estudiar de manera temprana el impacto de la plaga en el terreno. Este proyecto de investigación analiza herramientas para registrar remotamente los insectos que ingresan a la trampa y así contribuir a la lucha nacional en contra del picudo algodonerero. Las trampas cónicas son complementadas con una electrónica diseñada para detectar y contar los insectos, acumular los conteos y enviar la información a los usuarios mediante un mensaje de texto. EL proyecto estudió también la utilización de redes de sensores y del protocolo LoRaWAN para retransmitir la información al usuario considerando disminuir el gasto de energía requeridos por la transmisión de datos. El prototipo incluye también un panel solar, batería y reguladores de tensión para alimentar el circuito sin la necesidad de una acción por parte del usuario.
Palabras claves (no menos de 3):	Picudo algodonerero, Internet de las cosas, GSM, LoRaWAN, registro remoto

PARTE I - Informe de resultados para el repositorio digital institucional de acceso abierto de la UNM – Ley N° 26.899

1. Antecedentes y objetivos

- Realizar una presentación general del estudio (tema/problema) y una justificación de su relevancia (motivos para estudiarlo, aportes potenciales).
- Describir, si corresponde, los métodos, técnicas, instrumentos y materiales utilizados
- Indicar objetivo general y específicos de la investigación

El picudo algodonero (*Anthonomus grandis*) es una plaga muy dañina del cultivo de algodón originario de América del Norte. Su presencia en Argentina fue detectada en el año 1993 y ese mismo año se declara plaga de la agricultura a través de la Resolución ex- IASCAV N° 95/1993. Desde entonces, el “Programa Nacional de Prevención y Erradicación de Picudo del Algodonero” busca definir estrategias y barreras fitosanitarias para evitar la propagación del picudo. Asimismo, el programa implementa metodologías para suprimir la plaga en las áreas infestadas.



Figura 1: picudo algodonero aportado por INTA - Castelar para este proyecto.

Una de las estrategias incentivadas por el Programa Nacional de Prevención y erradicación de picudo del algodonero es la utilización de trampas para monitorear y controlar la población de insectos. Existe una gran cantidad de trampas aplicadas a la agricultura, algunas utilizan adhesivos o líquidos para capturar a los insectos y otras utilizan recipientes que dificultan su escape. Se han realizado distintos tipos de experiencias de automatización y registro remoto de estos dispositivos. Sin embargo, no se encontraron ejemplos de aplicaciones electrónicas para los picudos algodoneros. Actualmente, en los campos de algodón se utilizan trampas tipo cono, ver Fig. 2, que se ubican en altura y son cebadas con una feromona sintética. El picudo entra y queda atrapado, muriendo un tiempo después debido a un insecticida que se coloca para controlar la plaga. Este tipo de dispositivo tiene una gran aplicación y se ha mejorado, por ejemplo, aplicando un código QR.

Otro caso de innovación son las trampas T.O.M.I. desarrolladas por el INTA, que son de bajo costo y han demostrado una efectividad del 70 %. Las mismas pueden ser fabricadas con elementos habitualmente disponibles para los mismos agricultores. Esta trampa se utiliza para observar y controlar, pero no incluye tecnología de control remoto.



Figura 2: trampa tipo cono utilizada en el presente proyecto.

Todas las trampas para insectos deben ser controladas periódicamente, una persona debe acercarse hasta la trampa, desarmarla y contar manualmente la cantidad de picudos en ella. En el caso de las trampas tipo cono y para los picudos algodonereros, este procedimiento se debe repetir al menos una vez por semana. Esto permite un análisis limitado de la información y requiere un importante tiempo por parte de los recursos humanos.

En este proyecto se busca optimizar la utilización de los recursos humanos, complementando las trampas tipo cono con una electrónica que detecta la actividad dentro de ellas. Esto permite evitar registros innecesarios y obtener información valiosa para el estudio de la plaga.

2. Demandante y sector productivo

- Describir a la organización adoptante y/o demandante y al sector productivo que forma parte

Este proyecto fue desarrollado a partir de la problemática existente de los productores de algodón en el país y en colaboración con la asociación de algodonereros de Saenz Peña, Chaco.

3. Actividades realizadas

- Indicar las actividades realizadas en relación a los objetivos del proyecto:

El objetivo general es desarrollar una trampa electrónica para el registro de picudos algodoneros, para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

1. Análisis de opciones para detectar los insectos. Se estudió distintas opciones como detección por imágenes, sensores capacitivos o sensores infrarrojos de paso y reflectivos. Se optaron por los sensores infrarrojos de paso, conocidos como fotoswitch, debido a su costo, funcionalidad y practicidad.
2. Desarrollo de electrónica de registro. Se utilizó el microcontrolador ESP32 montado en un módulo comercial debido su bajo costo y grandes funcionalidades. Se estudió el dispositivo y las distintas formas para reducir su consumo.
3. Desarrollo de suministro de energía para la trampa. Se utilizó un panel solar con una batería y el regulador de tensión del módulo del ESP32. Se estudiaron muchas opciones distintas de baterías y reguladores encontrando a esta opción como la más conveniente para este proyecto debido a su costo y practicidad.
4. Desarrollo de comunicación vía GSM. Se utilizó un módulo GSM en combinación del microcontrolador ESP32 para poder enviar y recibir mensajes mediante GSM.

4. Resultados y productos

*- Breve descripción de los conocimientos, tecnologías y/o bienes transferidos al sector asociado
- Informar si se han generado nuevas patentes o licencias*

Las trampas tipo cono pueden ser complementadas con un sensor infrarrojo que se coloca en su entrada y cuenta cada vez que el insecto pasa por la misma. Esa información puede ser enviada a un servidor para analizar la actividad en el dispositivo. El insecto puede atravesar la posición en más de una oportunidad y por lo tanto las detecciones realizadas se deben considerar como una descripción de la actividad en la trampa, considerando que, a mayor actividad, mayor es la cantidad de picudos atrapados.

Se distinguen dos tipos de trampas, las maestras y las esclavas. Las primeras son las únicas que pueden enviar la información a un dispositivo remoto utilizando los protocolos GSM o LoRaWAN, mientras que las esclavas se comunican únicamente con la maestra. Esto permite

reducir costos de instalación y armar redes de trampas interconectadas. Por ejemplo, en un campo con 8 trampas, siete de ellas contarán con un módulo de comunicación de corto alcance y solo una de ellas con un módulo para comunicación de largo alcance, ver figura 3.

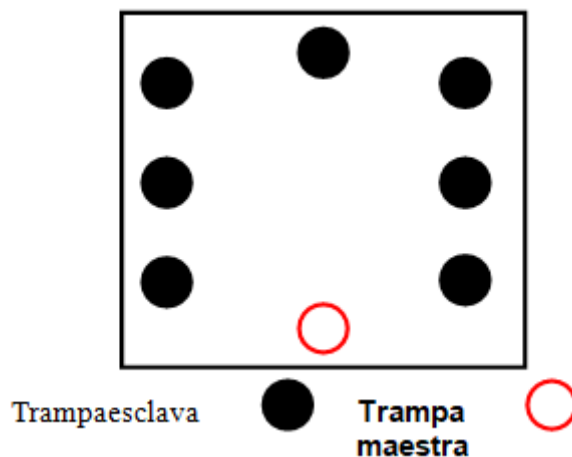


Figura 3: esquema de utilización de trampas. Las trampas esclavas cuentan únicamente con comunicación a corto alcance y la maestra puede enviar la información a un dispositivo remoto. Las trampas con detección de actividad cuentan con un sensor para la detección de picudos, un circuito de reset que el usuario puede activar para inicializar la trampa, y un circuito de comunicación. Todos estos elementos están comandados por un microcontrolador que se encuentra típicamente en estado dormido. Cuando el sensor detecta actividad, el microcontrolador se despierta e incrementa su contador de detecciones para luego volver al estado de reposo. En determinados momentos, el microcontrolador se despierta para transmitir la información.

Se muestra a continuación un diagrama de las trampas esclavas, el reed switch permite configurar a la trampa en el estado inicial con su contador en 0. En estado dormido el microcontrolador consume muy poca energía porque mantiene encendido únicamente el ULP (Ultra Low Power coprocessor) que controla las interrupciones generadas por el sensor infrarrojo, el reed switch y el RTC (Real Time Clock). Ante cada interrupción, el microcontrolador se despierta y realiza distintas tareas: si se detecta actividad incrementa el contador, si el reed switch fue activado pone el contador en 0, y si pasó una dada cantidad de tiempo transmite la información a través de un protocolo denominado ESP-NOW. El tiempo transcurrido se determina con el Real Time Clock. El reed switch se activa por el usuario al cambiar las

feromonas y cuando se requiere sincronizar todo el sistema. La activación se realiza con un imán que se debe colocar cerca del reed switch, el gabinete indica visualmente la ubicación.

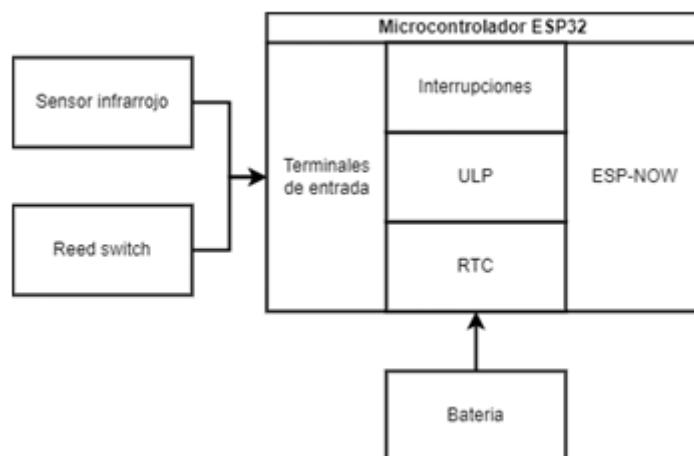


Figura 4: Diagrama de las trampas esclavas.

La trampa maestra recibe toda la información desde las trampas esclavas y la retransmite al usuario mediante GSM o LoRaWAN. En cada ocasión en que la trampa maestra recibe un mensaje, le indica a la esclava cuánto tiempo debe volver a dormir. En la siguiente figura se presenta el diagrama en bloques correspondiente con la inclusión del módulo GSM o LoRaWAN.

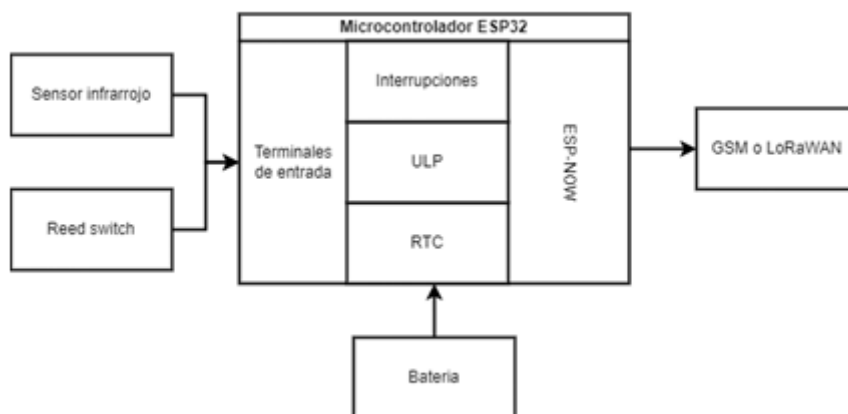


Figura 5: diagrama en bloques de la trampa maestra.

Sensor

Durante el desarrollo de este proyecto se estudiaron distintas formas de detección de insectos utilizando los sensores disponibles en el mercado. Una opción estudiada fueron los sensores infrarrojos de detección de objetos por refracción, los cuales miden la refracción de luz infrarroja

en el objeto a detectar. En particular el modelo QRD1114, que es un dispositivo de detección de objetos de corto alcance. Su tamaño lo hace ideal para el proyecto, sin embargo, el color oscuro de los insectos reduce la refracción de la luz produciendo detecciones erráticas y por lo tanto se descarta el uso del mismo.

Los mejores resultados se obtuvieron con sensores infrarrojos de tipo barrera, en donde se detecta la interrupción del haz de luz infrarroja entre el emisor y el detector. Estos sensores se suelen encontrar en formato de horquilla o se pueden implementar con emisores y receptores individuales. Para integrar el sensor a una trampa se estudiaron distintas aproximaciones, se diseñaron distintas piezas que se imprimieron y probaron en la práctica. El primer diseño de pieza incluyó una tapa para proteger el sensor del polvo y agua, una pieza para sostener el sensor y un cable canal, ver Fig. 6. Sin embargo, su integración dentro de la trampa resultó demasiado compleja y no se podía instalar o abrir la trampa con facilidad, por lo tanto, se desestimó este diseño. Luego, se continuó con un diseño más sencillo que se apoyaba sobre la entrada a la trampa. Su aplicación e instalación resultó muy simple, pero en la práctica se encontró que los picudos se quedaban muy cerca de esta pieza y se alojaban en la cavidad del sensor, lo cual hace su aplicación totalmente imposible. Los mejores resultados se obtuvieron disminuyendo al mínimo el tamaño de las piezas que se acoplan a la trampa tradicional y conduciendo el cable por la parte superior de la trampa. Esto genera una instalación muy sencilla y que evita la acumulación de insectos en zonas críticas.

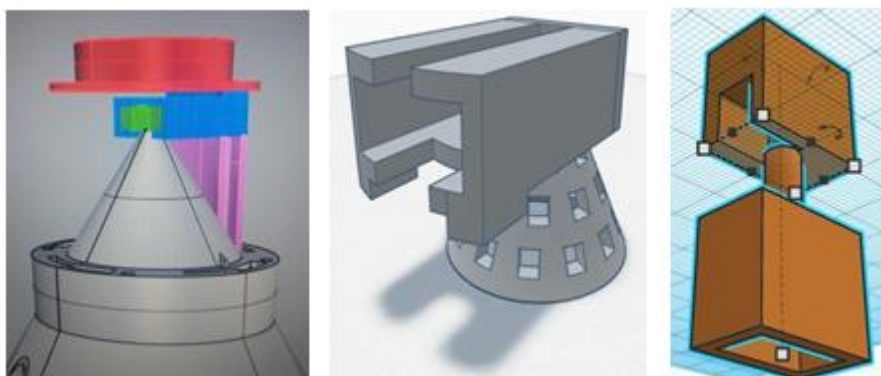


Figura 6: (Izquierda) Primer prototipo, en rojo se observa la tapa, en verde el sensor, y en rosa el cable canal. (Centro) Segundo prototipo de la pieza de acople del sensor, en las pruebas prácticas se encontró que los insectos se quedaban dentro de la horquilla del sensor. (Derecha) Último diseño implementado para el soporte del sensor, consiste en dos partes que se adhieren a la tapa de la trampa y el cable del sensor se retira a través de esta pieza.

Se estudiaron distintos sensores infrarrojos de barrera, como el ITR9608, ITR9606 y MOCH22A, todos ellos con especificaciones muy similares, sin embargo, se seleccionaron los dos últimos modelos debido a que el ángulo de emisión es menor.

También se optimizó la alimentación del sensor para reducir el consumo y así extender la vida útil de la batería. Como se ha mencionado, se utilizó un procesador de ultra bajo consumo (ULP) para activar el sensor infrarrojo durante unos pocos milisegundos y con una frecuencia de activación suficiente como para detectar la interrupción del insecto, que se considera mucho más lenta que la activación. Esta modulación permite también evitar falsos disparos ya que se activan únicamente cuando el emisor está encendido.

Unidad de control

El control y comunicación de la trampa se realizó con el microcontrolador ESP32 que incluye un procesador de doble núcleo, memoria RAM y FLASH suficientes, comunicación mediante ESP-NOW, pines de entrada para las interrupciones y un reloj de tiempo real. Se seleccionó este dispositivo debido a su gran capacidad y disponibilidad en el mercado.



Figura 7: microcontrolador utilizado.

En este proyecto y para reducir el consumo, el procesador principal pasa la mayor parte del tiempo en Sleep Mode, mientras el ULP se encarga de controlar el sensor externo. Cuando un picudo es detectado, el sensor generará un nivel alto en un pin, despertando así al procesador principal mediante una interrupción. El procesador únicamente incrementa la variable que almacena el número de picudos y vuelve al estado Sleep. En caso de que el sensor produzca un nuevo nivel alto demasiado pronto, el procesador lo ignora. Si el sensor envía muchas detecciones consecutivas, se considerará obstruido, se anulará su alimentación y su estado (obstruido o no) será chequeado cada cierto tiempo. El tiempo mínimo para considerar dos detecciones como diferentes y el número de detecciones consecutivas (duplicadas) antes de considerar una obstrucción fueron determinados empíricamente. El reloj de tiempo real (RTC)

incorporado en el ESP32 permite coordinar los momentos en que todas las trampas se despiertan para comunicarse. Cuando el procesador principal es despertado por el timer, prepara el mensaje y lo envía mediante ESP-NOW (en caso de ser una trampa esclava). Por otro lado, la trampa maestra, que se despierta minutos antes, espera los mensajes vía ESP-NOW y responde a cada esclavo el tiempo que debe volver a dormir. Finalmente, la trampa maestra debe generar el mensaje que luego será enviado mediante el protocolo GSM o LoRaWAN al usuario final. El sistema incluye la posibilidad de ser devuelto a su estado inicial mediante una acción externa por parte del usuario. Si el sensor magnético (reed switch) es activado con un imán, producirá una interrupción, se reiniciará el número de detecciones almacenado, y se fijará el estado como no obstruido. Esto permite el mantenimiento de las trampas (limpieza, cambio de feromonas, etc.).

Máquina de Estados

Las trampas se encuentran en Deep Sleep para reducir el consumo. Se despiertan:

- Si se detecta un picudo en el sensor infrarrojo. Entonces se incrementa el contador de picudos, y luego se regresa a Deep Sleep.
- Si se activa el reed switch. Se pone en cero el contador y se vuelve al estado Deep Sleep. Se activa un buzzer para indicar esta operación. Además se envía un mensaje para que la trampa maestra detecte a la esclava.
- Cada cierto tiempo definido por el programa (RTC). Luego de cierto tiempo la trampa envía la cantidad de picudos detectados y su estado de batería a la trampa maestra. La trampa esclava recibe de la maestra la confirmación de recepción, junto con el nuevo tiempo que deberá dormir antes del próximo envío.

Comunicación

Las trampas implementan dos niveles de comunicación, uno local que comunica la información entre ellas y otro de mayor alcance que permite reportar al usuario la información recabada. Una trampa maestra recibe todos los mensajes, como lo presenta la siguiente imagen y luego los retransmite al usuario mediante GSM o LoRaWAN. Cada trampa esclava transmite su reporte de actividad a la trampa maestra vía el protocolo ESP-NOW. Cuando la trampa maestra recibe un mensaje le indica a la esclava cuánto tiempo debe volver a dormir, esto se hace con todas las trampas del lote para que se despierten al mismo tiempo aproximadamente.

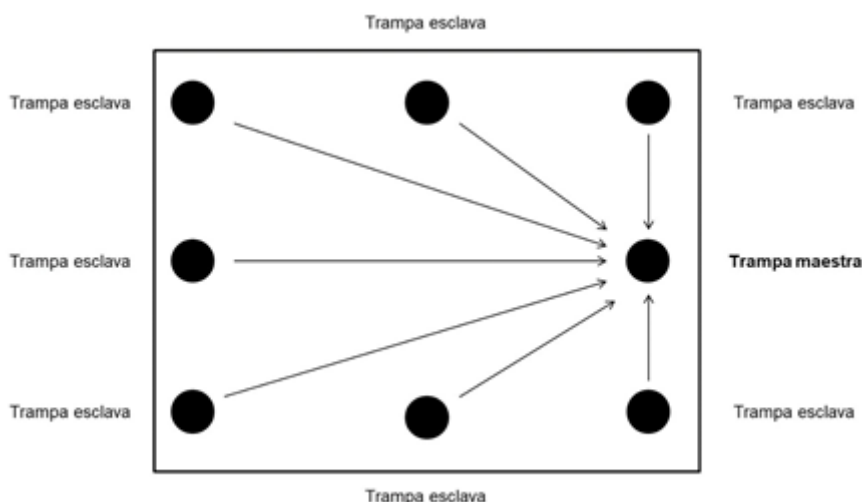


Figura 8: intercomunicación entre trampas vía ESP-NOW.

ESP-NOW

ESP-NOW es un protocolo de comunicación inalámbrica desarrollado por la empresa Espressif Systems para sus productos de la familia ESP8266 y ESP32. Esta tecnología simplifica las capas superiores del modelo OSI, permitiendo la transmisión de datos entre dispositivos de manera eficiente, simple y con bajo consumo. En este proyecto se utiliza ESP-NOW para la comunicación entre las distintas trampas, debido a su fácil integración ya que no se requieren chips externos al microcontrolador. Además, el alcance teórico de este protocolo es de aproximadamente 200 m, superando otros protocolos como WiFi y BLE. Cada trampa puede identificarse de manera única en la red debido a una dirección, denominada MAC, que es asignada a cada elemento por su fabricante. Luego, el usuario puede asignar una identificación amigable a cada trampa que el sistema toma como un sinónimo de la MAC.

LoRaWAN®

LoRaWAN es una especificación de protocolo de comunicación y arquitectura de redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) que permite la comunicación en largas distancias con poca energía y mediante hardware de tamaño reducido. Se enfoca en requisitos clave de Internet de las cosas (IoT), como la conectividad bidireccional, seguridad extremo a extremo, movilidad y localización.

La arquitectura de red LoRaWAN se implementa en una topología de estrella en la que los gateways transmiten mensajes entre los dispositivos y un servidor de red central. Los gateways están conectados al servidor de red a través de conexiones IP estándar, la siguiente figura

presenta dos gateways disponibles en la UNM. Por lo tanto, si bien la capa física LoRa provee un gran alcance, se requiere de un gateway con acceso a internet para la explotación de los datos. Para este proyecto se considera viable la utilización de este protocolo, siempre que se disponga de acceso a internet a algunos kilómetros de la zona de implementación.

Se han realizado otros proyectos, en la Universidad Nacional de Moreno que implementan redes LoRaWAN, demostrando su viabilidad y versatilidad para el uso en IoT.



Figura 9: (Arriba) gateway LoRa profesional instalado en la UNM. (Abajo) gateway LoRaWAN de uso en interior junto con un termohigrómetro LoRa

GSM

La tecnología GSM utiliza la comunicación entre dispositivos móviles y estaciones base, lo que permite al dispositivo enviar mensajes de texto y acceder a servicios de datos en movimiento. Utiliza una combinación de técnicas de modulación digital y multiplexación para transmitir información de manera eficiente a través del espectro de radiofrecuencia. Es uno de los estándares digitales inalámbricos más importantes del mundo abarcando el 80 por ciento del total del mercado móvil digital. Posibilita la transmisión de datos de alta velocidad y se caracteriza por la utilización de una tarjeta denominada SIM Card, que contiene la información de

la cuenta. En este proyecto, los paquetes a transmitir son muy ligeros, por lo que no se requiere un gran ancho de banda. Se considera viable la utilización de GSM, siempre que exista una estación base con cobertura en la zona de implementación.

Alimentación

Los módulos comerciales que contienen el ESP32 van acompañados, generalmente, de un regulador de tensión como el AMS1117. Estos reguladores soportan las altas corrientes necesarias durante la transmisión (por ejemplo mediante ESP-NOW), que pueden alcanzar picos mayores a 250 mA. Sin embargo, poseen una caída de tensión de entrada a salida (dropout voltage) normalmente mayor a 1 V. Por lo tanto se requiere que la/s batería/s provean cerca de 4,5 V. Por otro lado, si se busca una autonomía cercana a unos 45 días, se ha estimado una capacidad de al menos 2200 mAh.

Se analizaron distintas opciones de alimentación considerando principalmente su costo, tamaño y duración de la batería. Además, se estudió el uso de otros reguladores de menor caída de tensión de entrada a salida que permiten trabajar con menor tensión en la batería. Se resumen distintas conclusiones para la alimentación a continuación.

Power Bank

Los power bank comerciales utilizan normalmente una batería de litio de 3,7 V, que elevan a 5 V. Para alimentar el ESP32 se reduce nuevamente la tensión a 3,3 V. Esto resulta ineficiente energéticamente y se descartó esta opción.

Baterías de Ni-MH de tamaño AA

Las baterías Ni-MH de tamaño AA suelen tener 1,2 V y para cumplir con lo mencionado al comienzo, se necesitan al menos 4 baterías de Ni-MH para alcanzar 4,8 V. Este tipo de pilas son muy comunes y pueden ser reemplazadas con pilas de uso hogareño aceptando menor duración. Algunas de las baterías disponibles en el mercado podrían resistir los picos de corriente y cumplir con la capacidad requerida. Poseen un costo menor en relación a las otras opciones, tanto si son recargables o no.

Baterías de litio de tamaño AA

Las baterías de litio no recargables son probablemente la mejor opción en cuanto a rendimiento ya que tienen una autodescarga muy baja y pueden almacenar mayor energía en el mismo

espacio. Pueden encontrarse pilas de 1,5 V, entonces se requiere al menos tres pilas. Sin embargo, esto resulta más costoso y existe una menor disponibilidad en el mercado.

Baterías de litio

Las baterías de litio recargables pueden adquirirse más fácilmente, pero proveen normalmente 3,7 V y se descargan más rápidamente que las no recargables (aunque a una tasa menor que otro tipo de baterías).

La siguiente tabla presenta un resumen comparativo entre las opciones. En este proyecto se seleccionó el uso de pilas Ni-MH de tamaño AA para las trampas esclavas y de una batería de litio recargable con panel solar para la trampa maestra.

Alimentación	Disponibilidad	Costo	Duración	Tamaño
Power bank	Alta	Medio/Alto	Aceptable	Aceptable
Pilas Ni-MH de tamaño AA	Alta	Bajo	Alta	Aceptable
Baterías de litio de tamaño AA	Medio	Alto	Alta	Aceptable
Baterías de litio	Medio	Medio	Alta	Pequeño

Ensayo de la fuente de alimentación

Se realizó el ensayo de regulación de carga en la etapa de alimentación de las trampas. Las pruebas fueron realizadas sobre el circuito formado por el regulador de tensión AP2112-3.3, alimentado por batería de 3,7V y el módulo de carga por panel solar. El panel solar se mantuvo conectado pero sin estar expuesto a luz intensa. La tensión bajo estudio se considera la salida del regulador de tensión (Vout). El objetivo es evaluar la variación de la tensión entregada por el regulador en función de la carga aplicada. Para ello se conecta en la salida "Vout" un circuito de prueba formado por resistores de 47Ω conectados en paralelo, de forma tal que varíe la carga aplicada. Se mide la resistencia obtenida al conectarlas en paralelo y la tensión entregada por el regulador.

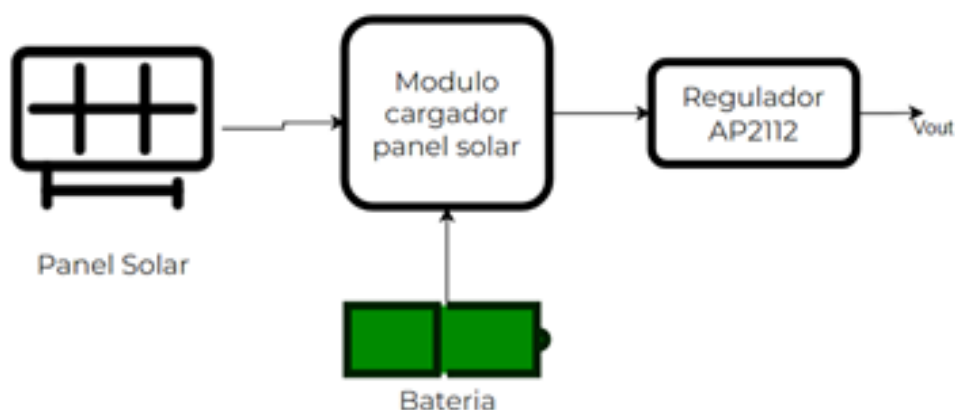


Figura 10: diagrama en bloques de la etapa de alimentación.

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos de las mediciones de resistencia y tensión eléctrica, y se presenta la corriente calculada. El controlador utilizado funcionará correctamente hasta con 2,2 V y por lo tanto esta fuente puede ser utilizada en el proyecto.

Configuración	Resistencia medida (Ω)	Tensión medida (V)	Corriente calculada (mA)
1 x 47 Ω	46,3	3,32	72
2 x 47 Ω	23,3	3,30	142
3 x 47 Ω	15,6	3,28	210
4 x 47 Ω	11,6	3,27	282
5 x 47 Ω	9,3	3,15	339
6 x 47 Ω	7,8	3,03	388
7 x 47 Ω	6,6	2,90	439

Tabla 1: mediciones de regulación de carga en la fuente de alimentación.

En todos los casos se midió la tensión con un osciloscopio configurado en el rango de 5 mV y acoplamiento en alterna. No se observó una relación del ruido de Vout con su carga. Se muestra el caso para mayor corriente, el ruido es menor a 10 mV.

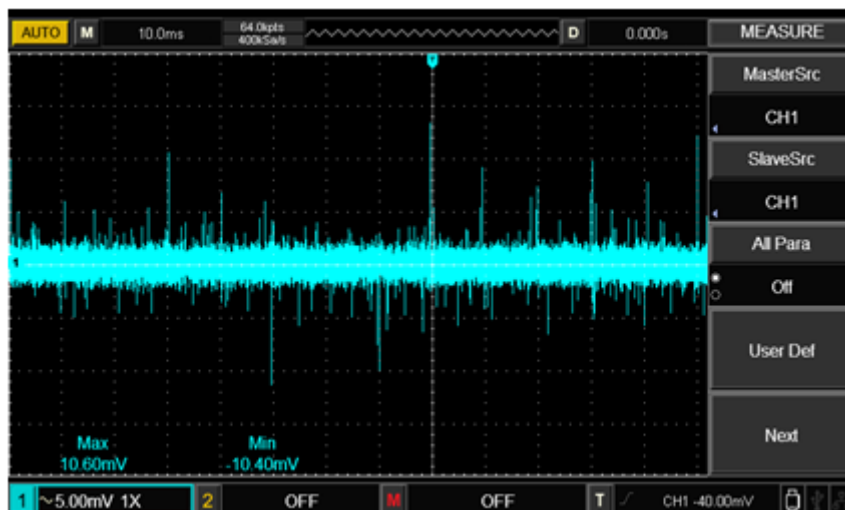


Figura 11: ruido en la tensión de alimentación con la configuración de $7 \times 47\Omega$.

Pruebas de comunicación con ESP-NOW

Se midió el alcance de los ESP32 transmitiendo por ESP-NOW y LR-PROTOCOL. Cuando el dispositivo está orientado horizontalmente (en paralelo al suelo) y separado de partes metálicas, el alcance es mayor a 100 m. Cuando está orientado verticalmente y/o con metales cerca, se reduce significativamente el alcance, el mismo no supera 70 m.

Pruebas con picudos algodóneros en un ambiente controlado

La trampa fue analizada en un ambiente controlado utilizando picudos algodóneros provistos por INTA Castelar. Se utilizó un contenedor plástico de aproximadamente 70 l, y se colocó una tela metálica para evitar que los insectos escapen por su abertura y para que se ventile el contenedor. El contenedor se ubicó dentro de un laboratorio que se mantuvo durante todo el trabajo en aproximadamente 22 °C. Sobre el contenedor se ubicó una luz incandescente con un encendido automático que proveía un ciclo de iluminación para los insectos. Se colocaron dentro del contenedor 160 picudos que sobrevivieron aproximadamente 20 días y fueron alimentados cada dos días aproximadamente. La alimentación y las instrucciones de trabajo fueron también provistos por personal de INTA Castelar. La trampa prototipo se ubicó dentro del contenedor junto con una rampa para que los insectos subieran. Dentro de la trampa se colocó un cinta con feromonas pero se excluyó el insecticida para realizar pruebas consecutivas. Se muestran a continuación los registros obtenidos con las trampas.

Fecha	Picudos atrapados	Detecciones
20-07	1	4
25-07	4	135
28-07	4	8
01-08	3	129
02-08	0	0
03-08	0	0
07-08	1	9

Tabla 2: detecciones registradas con la trampa prototipo durante el experimento en laboratorio.

Se puede observar que los registros obtenidos son muy superiores a la cantidad de insectos atrapados, esto se debe a que cada vez que pasa el insecto por el sensor es registrado. Además, al no incluir un insecticida los insectos se mantienen activos durante todo el tiempo en que están atrapados. Estas experiencias permitieron asegurar la efectividad de la detección y permitió optimizar el soporte del sensor, como se describió previamente. Se destacan las siguientes observaciones de relevancia:

1. Los insectos se posicionan siempre cerca de las estructuras dentro de la trampa, por ejemplo el cable del sensor. Por lo tanto, las estructuras deben ser lo más chicas posibles.
2. En algunas pruebas se observó que los picudos usaban al sensor horquilla como “cueva” provocando múltiples detecciones.
3. La ventilación del contenedor es muy importante para evitar la saturación del ambiente con la feromona.
4. En futuras experiencias, se necesita construir una mejor tapa para facilitar el uso del contenedor, se requiere un control de temperatura localizado y estabilizado en aproximadamente 25 °C, se requiere implementar una ventilación y un posicionamiento sencillo para al menos dos trampas.

5. Impacto

- Describir el impacto del proyecto en relación a la problemática planteada

En este reporte se presentó una trampa con detección de actividad para los picudos algodoueros que permite mejorar la utilización de los recursos para el control de esta plaga.

Se diseñó un sistema completo para ser implementado en una situación real, el mismo se componen de varias trampas esclavas ubicadas a menos de 100 m de una trampa maestra. Se diseñó el acople del sensor a la trampa tipo cono, la electrónica asociada y los protocolos de comunicación.

Un prototipo simplificado fue construido y estudiado. Las mediciones reportadas demuestran que el sensor detecta la actividad en la trampa, sin embargo, la falta de insecticida en la trampa provocó un conteo excesivo. Se requiere mayor cantidad de pruebas para poder seguir mejorando el diseño.

Este desarrollo permitió estudiar y probar distintas herramientas orientadas al Internet de las Cosas que permiten al laboratorio de electrónica planificar y proponer nuevos proyectos.

Fecha: 16/02/2024

Firma Responsable del Área de la UNM donde radica el Proyecto:



Ing. Gabriel Venturino

Director Centro de Investigación e Innovación Tecnológica