

El desarrollo tecnológico incluye un *software* que permite reenviar la información y presentar **estadísticas** respecto a los eventos o capturas que suceden durante el año.



Sistema electrónico de alerta y captura de roedores para el sector agroindustrial

Alert and Capture of Rodents Electronic System for the Agro-Industrial Sector

RESUMEN

En el Perú, el control de roedores requiere mucho tiempo y esfuerzo del controlador de plagas. Una empresa agroindustrial coloca entre 50 y 200 dispositivos, que se verifican periódicamente. A veces, se encuentran roedores en estado de putrefacción con alto riesgo de contaminación.

El objetivo es desarrollar un método de desratización permanente (24 horas / 7 días) que reemplace a la desratización «tradicional».

Por ello se desarrolló un sistema de control inteligente, que envía alertas ante la presencia o la captura de un roedor en los dispositivos, sea mediante un mensaje de texto o correo electrónico, lo que permite una rápida intervención; asimismo se cuenta con un software que registra todas las capturas y eventos en los dispositivos.

El proyecto se desarrolló desde marzo hasta diciembre de 2017. En la fase de laboratorio, se diseñaron y ensamblaron los prototipos 1, 2 y 3, posteriormente, se incluyó el prototipo 4, importado, para comparación con los anteriores. Las pruebas se hicieron en la empresa Control S. A. C., en La Victoria, Lima. Los prototipos con mayor eficacia en el envío de las comunicaciones fueron los prototipos 1 y 4 con un 100 % y 95.76 % de eficacia, respectivamente.

Los prototipos seleccionados pasaron a la fase de campo que se realizó en tres empresas del sector agroindustrial, ubicadas en el Callao y Lurín. La eficacia promedio de los prototipos 1 y 4 fueron de 88.31 % y 90.53 %, respectivamente.

El análisis económico demostró que el prototipo 1 resultó ser 24.3 % más económico que el prototipo 4. Ambos presentaron mayor viabilidad comercial para el mercado nacional, teniéndose en cuenta que el primero trabaja con red WiFi, mientras que el segundo con mensajería de texto (alternancia en el portafolio comercial de la empresa).

Durante la ejecución del proyecto, se logró un monitoreo continuo para el control de roedores (24 horas / 7 días).

ABSTRACT

In Peru, rodent control requires a lot of time and effort from the pest controller. An agro-industrial company puts in place between 50 to 200 devices, which are checked periodically. Sometimes rodents are found in a state of putrefaction with a high risk of contamination.

The objective is to develop a permanent rat extermination method (24 hours / 7 days) in substitution of the «traditional» method.

For this reason, a smart control system was developed, which sends alerts to the presence or capture of a rodent in the devices, either by means of a text message or email message, allowing a quick intervention; it counts on also with a software package that records all the captures and events in the devices.

The project was developed from March to December 2017. In the laboratory phase, the prototypes 1, 2 and 3 were designed and assembled; later a prototype 4, imported, was included for comparison purposes with the previous ones. The tests were carried out at Control SAC., in La Victoria, Lima. Prototypes with the highest efficiency in sending communications were prototype 1 and 4 with 100% and 95.76% efficiency, respectively.

The selected prototypes went to the field phase, which was carried out in three companies of the agro-industrial sector, located in Callao and Lurin. The average efficiency of prototypes 1 and 4 were 88.31% and 90.53%, respectively.

The economic analysis showed us that prototype 1 turned out to be 24.3% cheaper than prototype 4. Both prototypes showed greater commercial viability for the local market, taking into account that the first works with a WiFi network, while the second with text messaging (alternation in the commercial portfolio of the company).

During the developing of the project, it was achieved a continuous monitoring for the control of rodents (24 hours / 7 days).



Palabras clave

Sensores, plagas, industria, sistema electrónico, roedores, WiFi, software.

Key words

Sensors, pests, industry, electronic system, rodents, WiFi, software.

INTRODUCCIÓN

La presencia de roedores en la agroindustria pone en riesgo la calidad e inocuidad de los alimentos y sus envases generando grandes pérdidas económicas y daños a la salud de los consumidores [14]. Actualmente, en el Perú, las empresas controladoras de plagas realizan el servicio de desratización «tradicional», empleando un alto número de personal y tiempo [6].

Se han determinado varios impactos negativos como son los problemas dorsales en las personas que revisan los cebaderos (al ser ubicados siempre sobre los pisos), además de problemas en la piel por exposición a los rayos solares y el riesgo biológico por exposición al encontrar un roedor en proceso de putrefacción. Esto último representa también un riesgo sobre las instalaciones y los alimentos que se producen. Desde el punto de vista económico y de la productividad, se tiene un alto costo horas-hombre al desratizar con el método «tradicional» que consiste en la revisión uno a uno de los cebaderos instalados [16]. Normalmente, esta actividad se realiza cada semana, quincena, al mes o hasta trimestralmente, según el grado de infestación y las posibilidades económicas de la empresa afectada.

El objetivo del proyecto es, por tanto, encontrar un método de desratización permanente (las 24 horas, todo el año) que pueda reemplazar a la desratización «tradicional» por ser esta periódica y parcialmente eficaz.

Control S. A. C. logró desarrollar un sistema de alerta y captura de roedores mediante el uso de sensores de movimiento, al cual le hemos denominado *Smart Control System*.

A través de este nuevo sistema, se reemplazará la metodología «tradicional» de desratización por una nueva que consiste en adaptar a los cebaderos de desratización unos componentes electrónicos que envían alertas de captura en tiempo real, vía SMS o correo electrónico al controlador de plagas o destinatario interesado. El desarrollo tecnológico incluye un *software* que permita reenviar la información y presentar estadísticas respecto a los eventos o capturas que sucedan durante el año.

Con este nuevo sistema, desarrollado en el país, las empresas tendrán un monitoreo continuo de los cebaderos y una atención inmediata del controlador de plagas ante cualquier alerta de captura recibida, reduciéndose el riesgo biológico de contaminación por roedores.

FUNDAMENTOS

A nivel internacional, en los últimos tres años se han desarrollado sistemas tecnológicos para el control de actividad de roedores en la industria que permitan evitar daños ocasionados por estas plagas. Sin embargo, en el Perú, aún no se ha elaborado una tecnología eficaz que permita detectar la presencia de los roedores, su captura y eliminación.

Según Gartner, durante el 2016 se incrementó en un 39 % el número de dispositivos conectados a internet de las cosas (Internet of Things - IoT); es decir, esta cifra supone un aumento de más de 500 millones de dispositivos en relación con el

año anterior, 2015 [10]. Respecto al control de roedores con sistemas IoT, ya es posible encontrar en el mundo dispositivos electrónicos para estos fines, aunque estos aún representan un altísimo costo al querer importarlos e implementarlos en nuestro país.

En Argentina, se desarrolló una herramienta de *software* donde, a través de información extraída de imágenes satelitales, se estudia el comportamiento de roedores [2].

En España, se aplica el servicio de Desratización Inteligente, que consiste en el desarrollo de trampas electrónicas con sistema de monitoreo en tiempo real [2].

Wisecan, por su parte, desarrolló una trampa inteligente para la captura múltiple de ratas. Este dispositivo puede estar conectado a un *software* que avisa, mediante un mensaje de texto o correo, electrónico cuando un roedor es capturado [17].

Rentokil desarrolló un sistema RADAR que detecta, captura y aísla a los roedores. Además, envía un aviso mediante correo electrónico o mensaje de texto cuando el roedor es capturado dentro del dispositivo [15].

El sistema de alerta y captura de roedores *Smart Control System*, desarrollado por Control S. A. C., es de última tecnología e innovador en nuestro país, de monitoreo continuo para el control de roedores. Los sensores se adaptarán a los cebaderos que, normalmente, se emplean para desratizar en las empresas. El responsable del control de plagas tendrá el control *online* de los cebaderos instalados.

El sistema *Smart Control System* está conectado a un *software* donde se registrarán todos los eventos y alertas de captura con la finalidad de realizar el análisis estadístico de los datos.

Se desarrollaron cuatro prototipos que se instalaron en los cebaderos que se emplean normalmente para el control de roedores.

Prototipo 1 (PRT1): Compuesto de una placa electrónica con módulo WiFi ESP8266 y un sensor PIR de movimiento [9], [12]. Para su funcionamiento, se requiere una conexión a red. La parte electrónica está adaptada al exterior del cebadero. Cuando un roedor ingresa al cebadero, es capturado por una trampa pegante y el movimiento del roedor es detectado por el sensor, el cual activa el módulo WiFi y envía la alerta a la base de datos del *software* desarrollado.



Figura 1. Cebadero con trampa adherente para prototipos PRT1, PRT2 y PRT3. Fuente: Elaboración propia.

Prototipo 2 (PRT2): Tiene comunicación vía SMS. Este prototipo, al detectar el movimiento mediante el sensor PIR, envía la información al módulo de comunicación que tiene insertado un chip de telefonía móvil, el cual enviará un SMS con alerta de captura a un celular programado. El módulo de comunicación de este prototipo es el dispositivo SIM 800L [18], y el microcontrolador ATmega 328P [3].

Prototipo 3 (PRT3): Tiene comunicación vía SMS. Este prototipo, al detectar el movimiento mediante el sensor PIR, envía la información al módulo de procesamiento quien da la orden al módulo de comunicación para que envíe un SMS con alerta de captura al número celular programado. Al igual que el prototipo 2, la placa electrónica tiene insertado un chip que envía un SMS al controlador de plagas.

El módulo de comunicación de este prototipo es el dispositivo SIM 900L [19], y el de procesamiento el microcontrolador del dispositivo Arduino UNO.

Prototipo 4 (PRT4): Es un prototipo adicional ensamblado, procedente de China (Figura 2), y que tiene la misma funcionalidad que los diseñados para este proyecto en nuestro país. Tiene comunicación vía SMS y un sensor de golpe que al activarse envía la información de captura al controlador de plagas.



Figura 2. Prototipo PRT4.
Fuente: Elaboración propia.

El PRT4 se instaló dentro de un cebadero como el de la figura 3.



Figura 3. Cebadero con trampa de golpe para prototipo PRT4.
Fuente: Elaboración propia.

El principal riesgo tecnológico detectado que se debe superar es la calidad de la señal en la recepción por parte de los emisores. Una buena cobertura de señal de telefonía es indispensable para el funcionamiento del sistema en general, así como la ubicación de los cebaderos y el nivel de interferencias que se podrían encontrar, los cuales serán limitaciones que deben ser detectadas y superadas.

METODOLOGÍA

La presente investigación consistió en dos fases: la primera, denominada *fase de laboratorio*, realizada en nuestras instalaciones y una segunda, *fase de campo*, ejecutada en las instalaciones de tres empresas agroindustriales elegidas.

Las principales variables en estudio fueron el lugar de ubicación de cebaderos, el nivel de cobertura e intensidad de señal de operadoras de telefonía, la fuente de energía de los prototipos (baterías), la calidad de ensamblaje y la calidad en el envío de alertas.

A. Fase de laboratorio

A.1. Diseño y formulación técnica de los prototipos

Se realizó el diseño electrónico de tres prototipos de sistema de alerta y captura de roedores: uno de conexión WiFi (PRT1) y otros de conexiones SMS (PRT2 y PRT3).

A.2. Ensamblaje de prototipos de sistema de alerta y captura de roedores

Se ensambló cinco ejemplares de cada prototipo diseñado: PRT1, PRT2 y PRT3, para dar inicio a las pruebas de funcionamiento iniciales.

En esta etapa, se adquirió un prototipo desarrollado en el exterior (PRT4) con la finalidad de efectuar la comparación respecto a la eficacia en el funcionamiento frente a los prototipos desarrollados en el país.

La tecnología de este equipo consiste en el envío de SMS al activarse el sensor de golpe como consecuencia de la activación de una trampa de gatillo para captura de un roedor.

A.3. Desarrollo de software (inicial)

Se dio inicio al desarrollo del *software* según los requerimientos establecidos por el equipo técnico del proyecto (Figuras 4 y 5). Para ello se realizó la contratación de personal externo especializado.



Figura 4. Software inicial de proyecto (usado en fase de laboratorio).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Software final SmartControl (usado en fase de campo).
Fuente: Elaboración propia.

A.4. Prueba de conectividad con software inicial

Se realizaron pruebas de conexión entre el software y los prototipos para asegurarse el envío de las alertas y su registro en la base de datos desarrollada.

A.5. Prueba de funcionamiento en instalaciones de Control S. A. C.

Las pruebas de funcionamiento de los cuatro prototipos se realizaron en distintas ubicaciones del edificio de cinco pisos, propiedad de la empresa Control S. A. C., ubicado en Santa Catalina, distrito de La Victoria: sótano, azotea (Figura 6) y pisos intermedios. Las pruebas se realizaron por un periodo de tres meses. La metodología consistió en activar alertas manualmente y de manera diaria (5 días por semana / 2 veces al día) y verificar si las alertas son recepcionadas por el software (base de datos inicial). Se registraron datos como tiempo de demora del envío de alertas luego de la activación, recepción de alertas en software, entre otros.

El funcionamiento y la eficacia de los 4 prototipos evaluados estuvieron sujetos a variables como la ubicación y la cobertura de señal en la zona, las cuales fueron analizadas en esta etapa.



Figura 6. Prueba en instalaciones de Control S. A. C. (Azotea).
Fuente: Elaboración propia.

A.6. Evaluación y selección de prototipos para la fase de campo

Una vez culminado el periodo de prueba en las instalaciones de Control S. A. C., se procedió al análisis de los resultados y se determinó la eficacia en el funcionamiento de los cuatro prototipos evaluados. Además del análisis técnico, se realizó un análisis de costos y beneficios, con la finalidad de determinar la viabilidad comercial del producto. Luego del análisis, se procedió a la selección de los mejores prototipos (alta eficacia y bajo costo) para que sean evaluados en la fase de campo.

B. Fase de campo

B.1. Ensamblaje de prototipos seleccionados

Los prototipos seleccionados fueron replicados (total: 60 dispositivos). Durante esta etapa, también se realizaron mejoras de diseño de los prototipos seleccionados para un mejor funcionamiento y ahorro de energía.

B.2. Instalación de dispositivos electrónicos en empresas agroindustriales

Para las pruebas de campo se seleccionaron tres empresas agroindustriales: dos ubicadas en el distrito de Lurín y una en el Callao, donde se realizaron las pruebas de campo por un periodo de dos meses.

B.3. Monitoreo y seguimiento de captura de roedores por el sistema

Se realizaron monitoreos 2 a 3 veces por semana, por un periodo de 2 meses, y se activaron manualmente las alertas con la finalidad de verificar la operatividad del sistema.

B.4. Mejora de atributos de software desarrollado

Durante el periodo de prueba de monitoreo en campo, se realizaron modificaciones al software para su mejora según las necesidades encontradas.

B.5. Estudio de factibilidad comercial de prototipos validados. Análisis de costo-beneficio

Luego del periodo de prueba de campo se analizaron los resultados técnicos de los prototipos y se determinó su operatividad y eficiencia. Asimismo se realizó un análisis de costo beneficio para determinar la viabilidad del proyecto.

RESULTADOS

A. Fase de laboratorio: Prueba en instalaciones de Control S. A. C.

Funcionamiento PRT1

Para el funcionamiento del prototipo PRT₁ se debe contar con conexión a una red. Los prototipos desarrollados fueron instalados en un área con cobertura WiFi y se determinó que el 100 % de las alarmas activadas fueron recibidas y almacenadas en el software inicial del proyecto (Tabla 1). No se tuvieron inconvenientes de fallas en cobertura de señal WiFi durante el

periodo de prueba. La eficacia de funcionamiento de las cinco réplicas diseñadas fue de 100 % en el envío de alertas.

Ubicación	Recepción de alerta en software
4.º piso	100.00 %
5.º piso	100.00 %

Tabla 1. Eficacia en el envío de alertas - PRT1.
Fuente: Elaboración propia.

No se presentaron problemas al momento de activar el sensor y se determinó que el tiempo promedio de detección de movimiento por parte del sensor correspondió a 13 segundos.

Funcionamiento PRT2

Se determinó un 26.69 % de eficacia promedio en el envío de las alertas a la base de datos.

Variable: Ubicación

Los resultados específicos, según las ubicaciones de las pruebas, fueron los siguientes:

Ubicación	Recepción de alerta	
	Falla	Éxito
Azotea	64.29 %	35.71 %
Sótano	81.82 %	18.18 %
4º piso	73.81 %	26.19 %
Promedio	73.31 %	26.69 %

Tabla 2. Eficacia PRT2 según ubicación para los operadores Entel, Claro y Movistar.
Fuente: Elaboración propia.

Se determinó que el sótano es la ubicación con menor porcentaje de envío y recepción de alertas. Principalmente, por la interferencia de la señal de telefonía en esa zona.

Por otro lado, la azotea presentó un mayor número de alertas recibidas en comparación con el sótano y 4º piso, como consecuencia de las características del lugar, lugar abierto, sin obstáculos, alta intensidad de señal para operadoras de telefonía (Tabla 2).

Sin embargo, es importante mencionar que este prototipo, además de presentar un bajo número de envío de alertas, es el que presenta fallas en el *hardware*, por motivos de ensamblaje.

Variable: Operadora de telefonía

La operadora Entel obtuvo un mayor porcentaje de alertas detectadas (Figura 7). El resultado puede variar respecto a otros lugares ya que depende de la potencia de la señal celular.

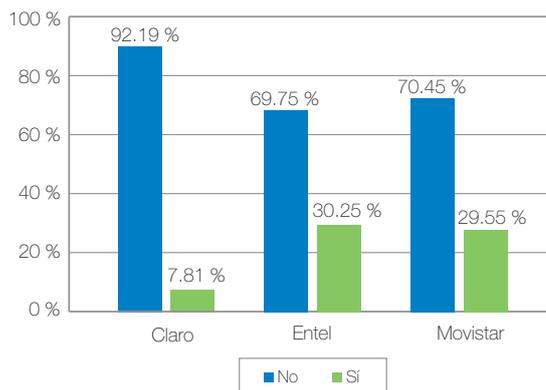


Figura 7. Eficacia PRT2 según operadora de telefonía.
Fuente: Elaboración propia.

Variable: Tiempo demora de envío de SMS

En la mayoría de los casos, el mensaje llegó luego de 1 minuto, incluso llegando a demorar 30 minutos como máximo.

Funcionamiento PRT3

Se detectó que la eficacia promedio en el envío de alertas fue de 71.05 %.

Variable: Ubicación

Se determinó que, en el sótano, existe menor porcentaje de alertas detectadas, mientras que en la azotea es mayor. Esto se debe a que la señal celular tiene débil cobertura en el primero (Tabla 3).

Ubicación	Recepción de alerta	
	Falla	Éxito
Azotea	12.50 %	87.50 %
Sótano	49.52 %	50.48 %
4º piso	24.82 %	75.18 %
Promedio	28.95 %	71.05 %

Tabla 3. Eficacia PRT3 según ubicación para los operadores Entel, Claro y Movistar.
Fuente: Elaboración propia.

Variable: Operadora de telefonía

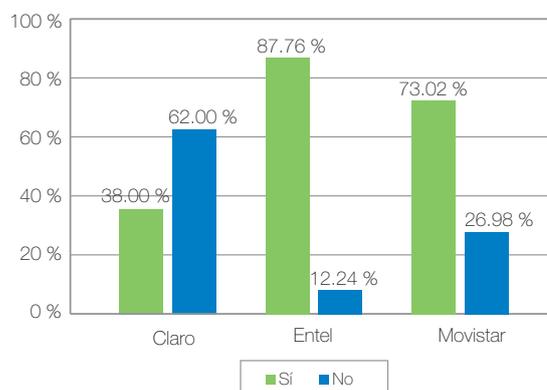


Figura 8. Eficacia PRT3 según operadora de telefonía.
Fuente: Elaboración propia.

Los prototipos PRT3 con chip Entel y Movistar presentaron un mayor porcentaje de envío de alertas, con respecto a la operadora Claro (Figura 8). Esto se debe a una mejor cobertura de señal en la zona de estudio (La Victoria, Lima).

Variable: Tiempo demora de envío de SMS

Se determinó que el tiempo de demora de envío de alerta, luego de activarse el sensor de movimiento es de 30 segundos en la mayoría de los datos tomados.

Funcionamiento PRT4

Para el caso del prototipo 4 (PRT4), el 75.43 % de los cebaderos enviaron la alerta luego de su activación, mientras que el 24.57 % no tuvo éxito como consecuencia de la falta de cobertura en la señal telefónica principalmente en el sótano.

Ubicación	Recepción de alerta	
	No	Sí
Azotea	3.33 %	96.67 %
Sótano	63.13 %	36.88 %
4° piso	7.24 %	92.76 %
Promedio	24.57 %	75.43 %

Tabla 4. Eficacia PRT4 según ubicación para los operadores Entel, Claro y Movistar. Fuente: Elaboración propia.

Variable: Ubicación

En la tabla 4, se observa el resultado de eficacia de alerta según ubicación de prototipo. En el sótano, existe un menor porcentaje de alertas detectadas, mientras que en la azotea y en el 4° piso es mayor. Esto se debe a que en el sótano la señal de la comunicación celular no llega con buena potencia.

Ubicación	PRT1	PRT2			PRT3			PRT4		
	WiFi	Entel	Claro	Movistar	Entel	Claro	Movistar	Entel	Claro	Movistar
4° piso	100 %	33.33 %	8.05 %	18.18 %	88.24 %	51.85 %	93.75 %	96.10 %	90.12 %	98.36 %
Azotea	-	55.56 %	20.00 %	22.22 %	83.33 %	80.00 %	100.00 %	100.00 %	100.00 %	90.00 %
Promedio por operadora	100 %	44.44 %	14.02 %	20.20 %	85.78 %	65.93 %	96.88 %	98.05 %	95.06 %	94.18 %
Promedio de eficacia (%)	100 %	26.22 %			82.86 %			95.76 %		

Tabla 5. Eficacia comparativa (resumen) según ubicación y operadora de telefonía. Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se descartaron las mediciones del sótano por la baja señal de cobertura telefónica.

El prototipo con mejor eficacia es PRT1 con un 100 % de envío de las alertas activadas a la base de datos, seguido de PRT4 con un 95.76 % de eficacia en envíos de alerta exitosas.

Variable: Operadora de telefonía

Para el caso del prototipo PRT4, la señal de telefonía Entel es la que presenta mayor porcentaje de envío exitoso de alertas (95.61 %) con respecto a las demás operadoras (Figura 9). Esto se debe a una mejor cobertura de señal en la zona y en ubicaciones con interferencias como el sótano.

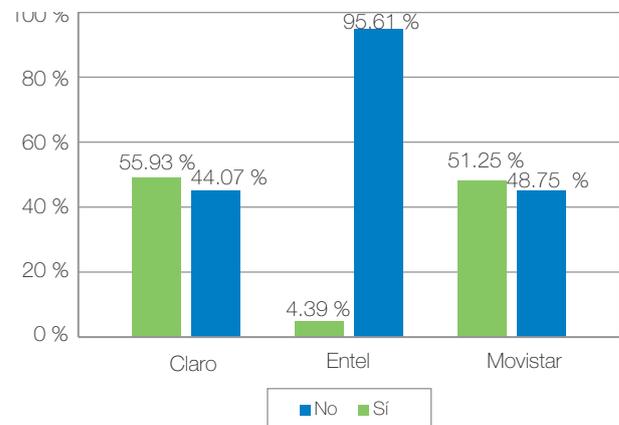


Figura 9. Eficacia PRT 4 según operadora de telefonía. Fuente: Elaboración propia.

Variable: Tiempo demora de envío de SMS

El tiempo promedio en enviar las alertas al celular receptor y base de datos luego de activada la alerta se encuentra entre los 21 y 30 segundos.

Análisis de eficacia comparativa de prototipos

Las eficacias se analizaron comparativamente en función a las ubicaciones, donde se desarrollaron las pruebas, y las operadoras de telefonía en prueba (Tabla 5). Se decidió que los datos obtenidos en el sótano del edificio no serían comprendidos en los datos estadísticos debido a que generarían errores estadísticos en los resultados.

Análisis técnico económico

A continuación, se muestra un cuadro resumen (Tabla 6) del comportamiento de los 4 prototipos, en función a los ciertos criterios evaluados:

N.º DE PROTOTIPO	ENSAMBLAJE				FUNCIONALIDAD	RIESGO FALLA	COSTO					CALIFICACIÓN FINAL	
	RAPIDEZ	FACILIDAD	FALLAS	TOTAL	1.CALIFICACIÓN	2.% EFICACIA	3.OPERACIÓN	4. ENSAMBLAJE	5. INSTALACIÓN	6. OPERACIÓN	7. REPARACIÓN		8. MATERIALES
PRT1 (Corriente - Wifi)	4	4	2	10	MALO	100.00 %	BAJO	10	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	APTO
PRT2 (Corriente - GSM)	3	3	4	10	MALO	26.22 %	MEDIO	10	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	NO APTO
PRT3 (Corriente - GSM)	2	2	4	8	BUENO	82.86 %	MEDIO	8	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	NO APTO
PRT4 (Batería- GSM)	1	1	1	3	BUENO	95.76 %	BAJO	3	BAJO	BAJO	ALTO	MEDIO	APTO

Tabla 6. resultados de evaluación técnico-económica (fase laboratorio). **Fuente:** Elaboración propia.
Nota: Se consideran como «ACIERTOS» a las calificaciones en fondo azul y letras blancas.

Del cuadro resumen, sobre la base de ocho aspectos evaluados, se obtuvieron los siguientes resultados:

- PRT-1: Obtuvo 5 aciertos, calificándose como **APTO**.
- PRT-2: Obtuvo 0 aciertos, calificándose como **NO APTO**.
- PRT-3: Obtuvo 1 acierto, calificándose como **NO APTO**.
- PRT-4: Obtuvo 6 aciertos, calificándose como **APTO**.

Con base en los resultados obtenido, no existe diferencia significativa entre el prototipo PRT1 y PRT4, por lo que son seleccionado para la fase de prueba de campo.

Incidencias en la fase de laboratorio

Durante esta fase, se descartó a la operadora Bitel como opción para la prueba por no contar con red 2G (SMS), necesaria para su adaptación a los prototipos.

Fase de campo

Ensamblado de prototipos

Para las pruebas de campo, se ensamblaron 30 dispositivos PRT1, como se observa en la figura 15. Para el caso del prototipo PRT4 se adquirieron 30 de estos sistemas.

Instalación de prototipos en empresas agroindustriales

Los prototipos seleccionados fueron instalados en tres empresas agroindustriales ubicadas en Callao (Figura 10) y Lurín (Figuras 11 y 12). Durante esta etapa, se activaron las alertas para verificar el funcionamiento de los prototipos (Figura 13).



Figura 10. Instalación de prototipos en Callao.
Fuente: Elaboración propia.

Figuras 11 y 12. Instalación de prototipos en Lurín.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Monitoreo de cebaderos en Lurín.
Fuente: Elaboración propia.

Durante la fase de prueba de campo, se analizaron los siguientes ítems:

Operatividad de los prototipos

La operatividad promedio, en las tres empresas evaluadas, se muestran en la tabla 7.

Prototipo	Operatividad	
	Activo	Inactivo
PRT1-WIFI	93.82 %	6.19 %
PRT4-SMS	97.31 %	2.69 %

Tabla 7. Operatividad PRT1 vs. PRT4.
Fuente: Elaboración propia.

El prototipo PRT4 presentó un porcentaje mayor de operatividad que el prototipo PRT1. La operatividad tuvo relación directa con la fuente de energía instalada en cada prototipo.

El PRT1 presentó mayores fallas debido a la batería alcalina que usa, en comparación con la batería de litio empleada en PRT4.

Eficacia de prototipos (alertas registradas en software)

El prototipo PRT4 presentó un mayor porcentaje de alertas registradas en software (90.53 %), mientras que PRT1 un porcentaje ligeramente menor (88.31 %). Esto debido, principalmente, a fallas o pérdidas de la red WiFi en las zonas de monitoreo (Tabla 8). Las alertas exitosas corresponden a

aquellas que fueron enviadas y registradas en el software *Smart Control System*.

Ubicación	% de éxito de PRT1 (alertas registradas)	% de éxito de PRT4 (alertas registradas)
Lurín	92.59 %	88.0 %
Callao	84.02 %	93.06 %
Promedio	88.31 %	90.53 %

Tabla 8. Alertas exitosas (PRT1 y PRT4).
Fuente: Elaboración propia.

La ubicación donde se obtuvo una mayor cantidad de alertas exitosas fue el distrito de Lurín para el caso de PRT1, mientras que, en el Callao, se obtuvo un mayor porcentaje de alertas exitosas para el prototipo PRT4.

Captura de roedores durante la fase de campo.

En esta fase, se produjo una captura en el prototipo PRT1 ubicada en una empresa del distrito de Lurín (Tabla 9). En las demás ubicaciones donde se realizaron las pruebas, no se registró la captura debido a la ausencia de estos animales.

Prototipo	Ubicación	Capturas
PRT1	Lurín	1
	Callao	0
PRT4	Lurín	0
	Callao	0

Tabla 9. Capturas PRT1 vs. PRT4.
Fuente: Elaboración propia.

El roedor fue atrapado en una trampa pegante en una de las visitas del mes de noviembre. Se acudió gracias a la respuesta del software *Smart Control System*.

Incidencias en la fase de campo

Durante la prueba, se registraron falsas alertas debido a golpes accidentales a los dispositivos por el personal o maquinarias.

Análisis técnico y económico de PRT1 y PRT4

Se analizaron cuatro aspectos de importancia en los prototipos que podrían determinar su viabilidad comercial en el mercado nacional. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

N.º DE PROTOTIPO	1	2		3	4				
	RAPIDEZ EN EL ENSAMBLAJE	EFICACIA Y FUNCIONALIDAD			RIESGO DE FALLAS	COSTOS (PARA 20 DISPOSITIVOS)			
		% Operatividad (por batería)	% Alarmas enviadas por el prototipo	% de Éxito (Alarmas registradas en software)	OPERACIÓN	ENSAMBLAJE Y MATERIALES (20 dispositivos)	PASAJES Y VIATICOS DESRATIZADOR (1 VISITA MENSUAL)	CONSUMIBLES MENSUAL (pilas, recargas de chips, etc.)	MANTO ANUAL /REPARACIÓN
PRT1 (WiFi)	LENTO	93.82 %	73.62 %	88.31 %	BAJO	S/ 5 008.20	S/ 103.70	S/ 279.00	S/ 83.50
PRT4 (GSM)	RÁPIDO	97.31 %	83.92 %	90.53 %	BAJO	S/ 6 746.40	S/ 103.70	S/ 325.00	S/ 93.30

Tabla 10. Resultados de evaluación técnico-económica (fase campo).
Fuente: Elaboración propia.

El prototipo PRT1 presentó mayores problemas en el ensamblaje debido a la dificultad en la soldadura de piezas pequeñas. La eficacia de PRT1 fue menor que PRT4, debido a las condiciones externas al desarrollo del *hardware*: baja cobertura e intermitencia en la señal WiFi disponible, entre otros, a diferencia de la fase de laboratorio donde el prototipo PRT1 (WiFi) presentó 100 % de eficacia. El PRT1 presentó menor costo de ensamblaje y puesta en funcionamiento lo cual representa una mayor utilidad.

Con base en la eficacia y factibilidad comercial, se determinó que los prototipos PRT1 y PRT4 presentaron mayor viabilidad comercial para el mercado nacional.

CONCLUSIONES

- Se cumplieron los objetivos establecidos para el proyecto.
- Se logró desarrollar un método de desratización permanente (las 24 horas, 12 meses del año), que pueda reemplazar a la desratización tradicional.
- Se desarrollaron sistemas alternativos con *hardware* (PRT1, PRT2, PRT3 y PRT4) y *software* (*Smart Control System*), los cuales fueron sometidos a pruebas iniciales.
- Al concluir la fase de laboratorio, se escogieron los prototipos PRT1 y PRT4 por obtener la más alta eficacia y viabilidad para el proyecto. Los prototipos PRT2 y PRT3 fueron descartados por presentar fallas en el ensamblado de *hardware* y un alto costo de los componentes, respectivamente.
- Finalizada la fase de campo, se obtuvo una alta eficacia para los prototipos PRT1 (88.31 %) y PRT4 (90.53 %) en el envío de las alertas al sistema *Smart Control System*. Las fallas en el envío de alertas se debieron a problemas en la cobertura de las señales SMS y WiFi en las localidades de Callao y Lurín, donde se desarrollaron las pruebas.
- Se concluye, sobre la base de la eficacia y el análisis económico, que los prototipos PRT1 y PRT4 son los más adecuados para su comercialización en el mercado nacional. Asimismo, es necesario continuar con las validaciones en campo de estos prototipos para determinar la eficacia en distintas condiciones ambientales.
- El *software Smart Control System*, desarrollado para el proyecto, demostró que registra de manera permanente (las 24 horas) todos los eventos que suceden en el sistema de cebaderos instalados para la desratización en las fábricas agroindustriales.

REFERENCIAS

[1] Andrea, V. (2008). *Desarrollo de software para la simulación espacio-temporal de la dinámica poblacional de roedores transmisores de fiebre hemorrágica*. Recuperado de <https://bit.ly/2OfsKGU>

[2] Anticimex (2016). *Anticimex Smart: Control digital de plagas 24/7*. España: Anticimex. Recuperado de <https://www.anticimex.com/es-ES/smart/>

[3] Atmel Corporation (2016). *ATmega328/P. Datasheet complete*. Recuperado de <https://bit.ly/2FsXRXP>

[4] Chaves, P. (2008). *Sensores analógicos utilizados en la automatización industrial*. Universidad de Costa Rica.

[5] Christopher T., et. al. (2015, 7 de julio) *Wireless notification systems and methods for electronic rodent traps*. Recuperado de <https://www.google.com/patents/US20160192635>.

[6] Decreto Supremo N.º 022-2001-SA. Reglamento sanitario para las actividades de saneamiento ambiental en viviendas y establecimientos comerciales industriales y de servicios. Diario Oficial El Peruano. Lima. Perú, 16 de julio de 2001.

[7] Espressif Systems IOT Team. (2015). *ESP8266EX Datasheet. Versión 4.3*. Recuperado de https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf

[8] FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura). (2016). *Control de roedores (un resumen). Depósito de documentos de la FAO*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/x5052s/x5052S04.htm>

[9] Fraden, J. (2004). *Handbook of Modern Sensors (Physics, Designs and Applications)* (3ª ed.). San Diego: Springer.

[10] Fundación CTIC. (2016). *¿Qué es el internet de las cosas?* Recuperado de <http://www.fundacionctic.org/sat/articulo-que-es-el-internet-de-las-cosas>

[11] Kramer, M. et. al. (2013, 26 de diciembre). *Wireless Mousetrap and System*. Recuperado de <https://www.google.com/patents/US20130342344>

[12] Pallas, R. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal*. (3ª ed.). Barcelona: Marcombo.

[13] Sheahan M., y Andrews, P. (2008). Rat Trap [inventors inbox]. *Engineering & Technology*, 3(14), 34-35. Recuperado de <https://bit.ly/2yunoNt>

[14] Ramírez, F. (2015). Área de consolidación gestión de la producción de agroalimentos. *Programa de manejo integrado de plagas para la industria desactivadora de soja* Recuperado de <https://bit.ly/2PpYQwj>

[15] Rentokil (2016). *Radar. Una solución innovadora, discreta y humanitaria para la eliminación de ratones*. Recuperado de <https://bit.ly/2RDpI5>

[16] Resolución Ministerial N.º 449-2001: Norma para la desinsectación, desratización, desinfección, limpieza y desinfección de reservorios de agua, limpieza de ambientes y de tanques sépticos. Diario Oficial El Peruano. Lima. Perú, 26 de julio de 2001.

[17] Wisecon (2015). *Wisebox. Effective control of rats and mice on the surface*. Dinamarca. Wisecon. Recuperado de <http://www.wisecon.dk/en/produktkategori/wisebox-en/>

[18] SIMCom (2013). *SIM 800L Hardware Design V1.00*. Recuperado de http://wiki.seeedstudio.com/images/4/46/SIM800L_Hardware_Design_V1.00.pdf

[19] SIMCom (2013). *SIM 900 Hardware Design V2.05*. Recuperado de http://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900_Hardware%20Design_V2.05.pdf

ACERCA DE LOS AUTORES

Iván Jerí San Miguel

Maestro en Gestión de la Calidad e Inocuidad en la Industria Alimentaria. Investigador principal del área de innovación de la empresa Control de Saneamiento Ambiental S. A. C. dedicada al control de plagas en la industria y salud pública. Ha realizado estudios y publicaciones relacionados con la toxicología en el arroz y la preservación de alimentos vegetales. Docente universitario y auditor líder internacional para sistemas de gestión de inocuidad en los alimentos.

@ ivanjeri@controlsac.com

Alfredo Rodríguez Gutiérrez

Ingeniero electrónico por la Universidad Nacional de Ingeniería, con estudios de maestría en Telecomunicaciones, así como una especialización en Comunicación de datos y maestría en Ingeniería con mención en Gerencia e Ingeniería del Mantenimiento. Docente en la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UNI, la UPC y TECSUP.

@ arodriguez@uni.edu.pe

Natalie Reynaga Bernaola

Ingeniera de alimentos con estudios de maestría en Tecnología de los Alimentos. Jefa del área de proyectos de la empresa Control de Saneamiento Ambiental S. A. C. Ha liderado estudios de investigación sobre productos para el control de las plagas y toxicología en los alimentos. Es miembro activo del comité de inocuidad alimentaria del Inacal. Docente universitario sobre la gestión de inocuidad en los alimentos.

@ calidad@controlsac.com

Jessica Villar Mondalgo

Bióloga con especialización en Microbiología, e Ingeniera Ambiental. Ejecuta validaciones y proyectos de investigación relacionados con el control de las plagas en la industria y salud pública. Jefa del laboratorio de innovación de la empresa Control de Saneamiento Ambiental S. A. C.

@ proyectos@controlsac.com