



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN CULTIVOS TROPICALES

**ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE
PLAGAS MEDIANTE UNA RED DE SENSORES
INALÁMBRICOS**

MONOGRAFÍA

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

TECNÓLOGO EN CULTIVOS TROPICALES

AUTOR

ALCIVAR ROSERO NIVALDO ANDRES

TUTOR

ING. DIEGO ARCOS JACOME MSc.

BALZAR – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN CULTIVOS TROPICALES

MONOGRAFÍA

ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE
PLAGAS MEDIANTE UNA RED DE SENSORES
INALÁMBRICOS

Línea de Investigación
MANEJO FITOSANITARIO

AUTOR

ALCIVAR ROSERO NIVALDO ANDRES

BALZAR – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN CULTIVOS TROPICALES

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Yo, DIEGO ARCOS JACOME MSc., docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutora, certifico que el presente trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE PLAGAS MEDIANTE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS, realizado por el estudiante ALCIVAR ROSERO NIVALDO ANDRES; ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Diego Arcos Jácome MSc.
TUTOR

Guayaquil, 19 de noviembre del 2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN CULTIVOS TROPICALES

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la sustentación del trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE PLAGAS MEDIANTE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS, realizado por el estudiante ALCIVAR ROSERO NIVALDO ANDRES, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. BURGOS HERRERÍA TANY MSc.

PRESIDENTE

ING. VELIZ PIGUAVE FREDDY MSc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. VALDEZ RIVERA DANILO MSc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. ARCOS JACOME DIEGO MSc.

EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 19 de noviembre del 2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres y familia quienes siempre me han motivado y dado las fuerzas para salir adelante y obtener este título que con gran esfuerzo y dedicación lo he podido conseguir.

Agradecimiento

A Dios por estar siempre conmigo en todos los momentos de mi vida por darme inteligencia y sabiduría para resolver los problemas que se me han presentado en mi camino.

Además, agradezco de la manera más sincera:

A las autoridades de la Universidad Agraria del Ecuador.

Al PhD Jacobo Bucaram Ortiz. Rector Fundador de la Universidad.

A la PhD Martha Bucaram de Jorgge, Rectora de la Universidad.

Al PhD Javier Del Cioppo Morstadt, Vice-Rector de la Universidad.

A la MSc. Emma Jácome Murillo, Decana de la Facultad de Ciencias Agrarias

A los maestros del Programa Regional de Enseñanza Balzar de la Universidad Agraria del Ecuador.

A mi tutor quien me ha guiado en mi trabajo monográfico con profesionalismo y dedicación

A todos mis compañeros y amigos.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, ALCIVAR ROSERO NIVALDO ANDRES, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE PLAGAS MEDIANTE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS”, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

ALCIVAR ROSERO NIVALDO ANDRES

C.I.

Guayaquil, 19 de noviembre del 2020

Índice general

Portada.....	1
Certificación de aceptación del tutor	3
Aprobación del tribunal de sustentación.....	4
Dedicatoria.....	5
Agradecimiento	6
Autorización de Autoría Intelectual	7
Índice general	8
Índice de figuras.....	11
Resumen	12
Abstract.....	13
1. Introducción.....	14
1.1 Importancia o caracterización del tema	14
1.2 Actualidad del tema	14
1.3 Novedad científica del tema	15
1.4 Justificación del tema.....	15
1.5 Objetivos.....	16
1.5.1 Objetivo general	16
1.5.2 Objetivos Específicos	16
2. Aspectos metodológicos.....	17
2.1 Materiales.....	17
2.1.1 Recursos Bibliográficos	17
2.1.2 Materiales y equipos	17
2.1.3 Recursos humanos	17

2.2. Métodos.....	18
2.2.1 Modalidad y tipo de Investigación	18
2.2.2 Tipos de métodos.....	18
2.2.3 Técnicas	19
2.3 Marco legal.....	19
3. Análisis y revisión de literatura	22
3.1 Tipos de sensores y su uso en la detección de plagas.	22
3.1.1 Sensor óptico con atrapamiento.....	22
3.1.2 Trampas electrónicas.....	24
3.1.3 Lentes Fresnel	25
3.1.4 Sensores acústicos.....	26
3.1.5 Sensores a base de imágenes	26
3.1.5 Sistema automatizado para la detección e identificación de insectos. 27	
3.2 Métodos de muestreo y análisis de datos de sensores de detección	27
3.2.1 Métodos de muestreo de sensores electrónicos	27
3.2.2 Métodos de análisis de datos.....	29
3.2.3 Método de detección de enfermedades por cromatografía de gases... 31	
3.2.4 Método de detección de enfermedades por termografía	32
3.2.5 Método de detección de enfermedades por fluorescencia.....	32
3.2.6 Método de detección de enfermedades hiperespectrales	32
3.3 Ventajas y desventajas del uso de los dispositivos de detección de plagas	
.....	33
3.3.1 Ventajas de los dispositivos de detección de plagas	33
3.3.2 Desventajas de los dispositivos de detección de plagas	34
4. Conclusiones.....	37

5. Recomendaciones.....	39
6. Bibliografía.....	41
7. Glosario.....	49
8. Anexos	41

Índice de figuras

Figura 1. Trampa con sensor, imagen del contenido de la trampa y sensor inalámbrico de imagen	41
Figura 2. Mapa satelital del sensor de detección de plagas	41
Figura 3. Imágenes del procesamiento aplicado a imágenes de una planta	42
Figura 4. Cámara termográfica IR	43

Resumen

Este trabajo monográfico está enfocado en el análisis de las técnicas de manejo de plagas mediante una red de sensores inalámbricos, dividiendo la investigación en tres secciones; la primera detalla los tipos de sensores y sus usos en la detección de plagas; la segunda, determina los métodos de muestreo y análisis de datos de las tecnologías de detección de las plagas; mientras que la tercera, menciona las ventajas y desventajas del uso de los dispositivos de detección de plagas. La técnica utilizada fue la investigación bibliográfica, que permitió recopilar, analizar y seleccionar la información basada en las teorías de diversos autores. Muchas especies de plagas de insectos se pueden detectar y monitorear automáticamente, existiendo diversos sistemas para mejorar el manejo integrado de plagas (MIP) en el contexto de la agricultura de precisión. Para la prevención de la infestación de insectos nocivos es necesario implementar medidas de control eficaces, que permitan evitar el límite crítico, existiendo diversas tecnologías que facilitan la detección preventiva, identificación y cuantificación, para una acertada toma de decisiones sobre el riesgo de insectos-plagas. Mediante el uso de sensores en la detección temprana de plagas en los cultivos, se podrá aumentar la productividad de los cultivos y proteger el medio ambiente.

Palabras claves: Agricultura de precisión, detección plagas, dispositivos, insectos-plaga.

Abstract

This monographic study is focused on the analysis of pest management techniques through a network of wireless sensors, dividing the investigation into three sections; The first details the types of sensors and their uses in detecting pests; the second, determines the methods of sampling and data analysis of the technologies for detecting pests; while the third one mentions the advantages and disadvantages of the use of pest detection devices. The technique used was bibliographic research, which made it possible to collect, analyze and select information based on the theories of various authors. Many species of insect pests can be detected and monitored automatically, and various systems exist to improve integrated pest management (IPM) in the context of precision agriculture. For the prevention of the infestation of harmful insects, it is necessary to implement effective control measures that allow avoiding the critical limit, there are various technologies that facilitate preventive detection, identification and quantification, for a correct decision-making on the risk of insects-pests. . Through the use of sensors in the early detection of pests in crops, it will be possible to increase the productivity of crops and protect the environment.

Keywords: Precision agriculture, pest detection, devices, insects-pest.

1. Introducción

1.1 Importancia o caracterización del tema

Prevenir las plagas en los cultivos es una tarea difícil para los agricultores. Las plagas pueden dañar el cultivo, reducir los rendimientos y también tener un impacto negativo en la calidad del cultivo, existiendo muchas técnicas para eliminar las plagas; no obstante la identificación de la plaga es necesaria antes del tratamiento.

El uso de pesticidas causa muchos resultados negativos, y sin la identificación adecuada, las plagas pueden desarrollar resistencia, lo que genera el uso de pesticidas más fuertes. Además junto con la eliminación de plagas también se afecta a organismos beneficiosos y enemigos naturales. El uso de pesticidas afecta los cultivos que son una población polinizada por insectos, lo que resulta en su incapacidad para desarrollar frutos.

El diagnóstico confiable de plagas en las primeras etapas de la producción de vegetales y frutas es altamente deseable para reducir la producción principal y las pérdidas económicas. El objetivo principal del diagnóstico de plagas de plantas es evaluar si una planta está sana y determinar las causas de un trastorno, si corresponde. Sin embargo, un desafío importante es la dificultad para determinar los cambios físicos, químicos y biológicos en las plantas durante las etapas asintomáticas de una infección. Otro desafío radica en la dificultad de realizar la tarea de manera oportuna y económica.

1.2 Actualidad del tema

Actualmente se están evaluando las narices electrónicas para detectar los compuestos orgánicos volátiles -COV de las plantas. También se discuten las aplicaciones y posibles mejoras para el uso de narices electrónicas para diagnosticar plantas infectadas con plagas. Las narices electrónicas, también

conocidas como dispositivos de olfato artificial, se han desarrollado ampliamente en las últimas dos décadas. Han sido ampliamente empleados en diversas aplicaciones que van desde el diagnóstico médico hasta la industria alimentaria, la protección del medio ambiente y la agricultura (Núñez, et al., 2017).

1.3 Novedad científica del tema

Las narices electrónicas, también conocidas como dispositivos de olfato artificial, se han desarrollado ampliamente en las últimas dos décadas. Han sido ampliamente empleados en diversas aplicaciones que van desde el diagnóstico médico hasta la industria alimentaria, la protección del medio ambiente y la agricultura. Estos sistemas están diseñados para imitar el sistema olfativo de los mamíferos. Están acoplados con diferentes tipos de matrices de sensores, que transforman la información de los compuestos orgánicos volátiles - COV en una señal electrónica. Cuando las muestras de gas se extienden a través de la matriz de sensores, las moléculas de olor inducen cambios fisicoquímicos reversibles en los materiales sensores. Esto provoca cambios en las propiedades eléctricas, como la resistencia y el potencial eléctrico (Cui, Ling, y Keener, 2018).

1.4 Justificación del tema

El monitoreo y manejo de plagas podría mejorar significativamente la producción y la calidad de los cultivos, es por esta razón que las estrategias de manejo de plagas más adecuadas deben diseñarse con base en información precisa sobre plagas. Generalmente, la detección e identificación de plagas es la responsabilidad fundamental del agricultor, basándose principalmente en su juicio visual al azar, ya que el agricultor no puede cubrir todo el campo por su gran extensión, llegando a la infestación de plagas demasiado tarde.

Con esta investigación monográfica se pretende realizar un análisis descriptivo de los sistemas de detección automática para una evaluación rápida de la infestación de plagas en una etapa temprana a través de las redes inalámbricas de sensores.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar las técnicas de manejo de plagas mediante una red de sensores inalámbricos.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Detallar los tipos de sensores y sus usos en la detección de plagas.
- Determinar los métodos de muestreo y análisis de datos de las tecnologías de detección de las plagas.
- Mencionar las ventajas y desventajas del uso de los dispositivos de detección de plagas.

2. Aspectos metodológicos

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos Bibliográficos

Este trabajo monográfico se realizará con los siguientes recursos bibliográficos:

- Artículos Web
- Páginas Web
- Periódicos Web
- Consultas en buscador de internet
- Libros Web
- Libros

2.1.2 Materiales y equipos

A continuación se detallan los materiales que se utilizarán en la presente investigación monográfica:

- Computadora
- Impresora
- Unidad USB Flash Drive
- Lápiz
- Cuaderno de apuntes
- Hojas A4
- CD

2.1.3 Recursos humanos

Para llevar a cabo la elaboración de esta investigación estarán involucrados:

El alumno como proponente de la investigación.

El docente encargado para realizar las debidas sugerencias y ser una guía en la etapa de elaboración del trabajo.

2.2. Métodos

2.2.1 Modalidad y tipo de Investigación

- Bibliográfica
- Explicativa
- Descriptiva

2.2.2 Tipos de métodos

A continuación se detallan los métodos empleados en el presente trabajo monográfico:

2.2.2.1 Método inductivo

Este proyecto se enfoca en brindar una análisis completo de la información recopilada en lo que concierne al análisis de las técnicas de manejo de plagas mediante una red de sensores inalámbricos, para luego debatir criterios que permitirán la comprensión con referente a este tema de actualidad.

2.2.2.2 Método deductivo

Este método nos permite extraer conclusiones de cuan beneficioso es para la agricultura la utilización de una red de sensores inalámbricos para el manejo de plagas.

2.2.2.3 Método Analítico

La información recopilada tendrá su respectivo análisis con el propósito de comprender mejor las cuestiones y procesos relevantes de las técnicas para el manejo de plagas a través de una red de sensores inalámbricos, se empleará un enfoque pormenorizado y organizado tratando de hacer un análisis exhaustivo para una mejor comprensión.

2.2.2.4 Método Síntesis

Este método consiste en discernir cómo se pueden utilizar las técnicas de manejo de plagas con el propósito de obtener una mejor producción.

2.2.3 Técnicas

La técnica a utilizarse en este trabajo monográfico es la investigación bibliográfica, que permite recopilar, analizar y seleccionar la información, fundamentando la investigación con las teorías de los diversos autores en relación a las técnicas de manejo de plagas mediante el uso de una red de sensores inalámbricos.

2.3 Marco legal

Este trabajo monográfico se relaciona con los literales d6 y d10 del plan toda una vida:

a. Acceso Equitativo a Infraestructura, Equipamiento y Conocimiento:

El acceso equitativo a infraestructura, equipamiento y conocimiento alude a la organización de los asentamientos humanos en su interacción con los sistemas productivos, en miras a favorecer el desarrollo territorial sistémico. Las redes de infraestructura crean condiciones para el traslado de personas y el intercambio de bienes, servicios e información y conocimiento, así como para el fomento de la producción y relacionamiento a nivel nacional y regional. Por otra parte, los equipamientos dotan a la población de servicios públicos para el desarrollo pleno de sus potencialidades. Esta directriz parte no solo del análisis espacial de ubicación, sino que lo complementa desde una lógica funcional. La funcionalidad de los asentamientos humanos optimiza los flujos y alerta de manera temprana las desconexiones suscitadas por enclaves territoriales. Posibilidades de transformación estructural, con miras a incrementar la productividad y la generación.

de valor agregado nacional, requieren de una distribución justa de los medios de producción (tierra, agua, capital, conocimiento), un mejoramiento de los servicios de apoyo a la producción y el fomento a sistemas de innovación (ciudades inteligentes, clústeres productivos, zonas especiales de desarrollo económico) que generen condiciones favorables para la inversión pública y privada, la economía popular y solidaria. Este tipo de iniciativas debe considerar las características territoriales de su implantación, impacto relativo y vinculación social, generando complementariedad y sinergia, vinculando el espacio urbano con el rural.

d. Impulso a la productividad y la competitividad sistémica a partir del fortalecimiento de los roles y funcionalidades del territorio.

d.6. Repotenciar y mantener las redes de infraestructuras y equipamientos que promuevan encadenamientos productivos, articulaciones urbano-rurales y nuevos productos asociados a la biodiversidad, priorizando a los micro y pequeños productores.

d.10. Incrementar el acceso a servicios públicos de telecomunicaciones y tecnologías de información, especialmente, en el sector rural, frontera, Amazonía y Galápagos. (Plan toda una vida, 2017).

Además se basa en la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria

Artículo 3. Principios.- Constituyen principios de aplicación de esta Ley, los siguientes:

a) Armonización: Establecer medidas fito y zoonosanitarias basadas en normas nacionales e internacionales comunes de varios países, con la finalidad de proteger la salud y vida de las personas, garantizar la soberanía alimentaria, el bienestar de los animales o preservar la inocuidad de los vegetales y facilitar el comercio internacional;

b) Diversificación: Fortalecer la diversificación y la utilización de tecnologías limpias en la producción agropecuaria;

c) Equivalencia: Cuando las regulaciones de sanidad agropecuaria expedidas en virtud de esta Ley, aunque difieran de otras similares de la normativa internacional se reconocerán como válidas por su jerarquía, a las internacionales cuando se logre el nivel adecuado de protección sanitaria y fitosanitaria;

d) Evaluación de riesgo: Evaluación del nivel de riesgo existente para la salud de las personas y la protección de la sanidad agropecuaria;

e) No discriminación: Trato igualitario a los productos importados como a los de producción nacional respetando la cláusula de la nación más favorecida del sistema multilateral de comercio, salvo los casos de excepción previstos en la Ley;

f) Precautelatorio: Adoptar medidas fito y zoonosanitarias eficaces y oportunas ante la sospecha de un posible riesgo grave para la salud de las personas, plantas, animales o al medio ambiente, aún sin contar con evidencia científica de tal riesgo;

g) Protección: Establecer medidas fito y zoonosanitarias previstas legal y técnicamente que garanticen la vida y la salud de las personas, los animales y la preservación de los vegetales, así como la protección contra otros daños resultantes de la entrada, radicación o diseminación de plagas o enfermedades;

h) Prevención: Adoptar políticas públicas que precautelen la salud de las personas, de los animales y de las plantas, a través de medidas de prevención, control y mitigación de plagas y enfermedades;

i) Seguridad alimentaria: Garantizar la sostenibilidad del acceso a los alimentos para las generaciones presentes y futuras;

j) Solidaridad: Dotar de alimentos a las poblaciones víctimas de desastres naturales o antrópicos que pongan en riesgo el acceso a la alimentación. Los alimentos recibidos de ayuda internacional no afectarán la salud ni la producción y comercialización de alimentos producidos localmente; y,

k) Transparencia: Notificar a nivel nacional e internacional información sobre las medidas fito y zoonosanitarias y su fundamento.

Artículo 4. De los fines.- La presente Ley tiene las siguientes finalidades:

a) Garantizar el ejercicio de los derechos ciudadanos a la producción permanente de alimentos sanos, de calidad, inocuos y de alto valor nutritivo para alcanzar la soberanía alimentaria;

b) Impulsar procesos de investigación e innovación tecnológica en la producción de alimentos de origen vegetal y animal que cumplan las normas y desarrollo de estándares de bienestar animal, que mejoren el acceso a los mercados nacionales e internacionales;

c) Fortalecer el vínculo entre la producción agropecuaria y el consumo local mediante la tecnificación de los procesos fito y zoonosanitarios de control y aseguramiento de la calidad de los productos agropecuarios;

d) Garantizar que la cadena de producción pecuaria cumpla con los estándares de bienestar animal que se establezcan en el reglamento de esta Ley y buenas prácticas zoonosanitarias.

3. Análisis y revisión de literatura

3.1 Tipos de sensores y su uso en la detección de plagas.

Toda técnica remota que pueda usarse en la red inalámbrica de sensores depende de la propagación electromagnética o la energía acústica entre el sensor y una plaga objetivo. Se deben usar algunos sensores de movimiento / vibración, que son muy sensibles, ya que pueden capturar incluso pequeñas pulsaciones de plagas en el campo; también se podrían utilizar sensores acústicos que puedan registrar algunas frecuencias especiales producidas por plagas, aunque resulta difícil su identificación directa se puede señalar la presencia de algunos insectos en un área específica del campo. El análisis y el procesamiento de imágenes con otras tecnologías informáticas avanzadas también existen para identificar plagas directamente (Azfar, Ahsan, Nadeem, y Alkhodre, 2018)

3.1.1 Sensor óptico con atrapamiento

Los sensores ópticos también se utilizan para obtener el tiempo exacto de entrada de plagas en la trampa, así como para registrar la salida; su captura en la trampa permite su identificación y clasificación de acuerdo a la morfología (Sánchez, 2016).

Una trampa para insectos se modela con tres capas con diferentes espesores para atrapar insectos, colocando el cebo apropiado sobre las capas para atraerlos. Se garantiza un sistema de monitoreo autónomo que utiliza luces negras (ultravioleta) y luces LED con un sensor de imagen de bajo costo para capturar las imágenes de las plagas atrapadas. Se utiliza un panel solar de 10 W para cargar la batería para alimentar el LED y las luces UV. La energía generada a través del panel solar se almacena en una batería para operar el

sistema durante la noche. Las imágenes capturadas se envían a una estación de control remoto (Prakash y Ramanujan, 2015).

3.1.1.1. Dispositivos de visión nocturna

Estos dispositivos se utilizan para observar y controlar el movimiento de los insectos por la noche cuando la visión humana no puede funcionar adecuadamente. Las capacidades de estos dispositivos pueden amplificarse con algunos dispositivos adicionales, como un telescopio. En el dispositivo de visión nocturna, la luz consiste en un fotocátodo que luego libera electrones. El número total de luces siguientes aumenta significativamente por alguna forma de voltaje de luz, como resultado, algunos electrones se utilizan para reproducir el duplicado en el dosel de fósforos (Adedeji, Rady, Villanueva, y Parrish, 2020).

En la teledetección térmica, los patrones de radiación invisible de los objetos se convierten en imágenes visibles y estas imágenes se denominan termogramas o imágenes térmicas. Las imágenes térmicas se pueden adquirir utilizando sensores térmicos, portátiles o de mano que se acoplan a sistemas ópticos montados en un avión o satélite. El uso potencial de la teledetección térmica en la agricultura incluye la detección de enfermedades de las plantas (Ali y Ahmed, 2020).

3.1.1.2. Dispositivos óptico-electrónicos

Algunos dispositivos más especializados para la monitorización de insectos y dispositivos optoelectrónicos especializados son los detectores de infrarrojos de haz cruzado. Cuando las plagas superan la capacidad de captura diseñada, son detectadas. También se registran las frecuencias de su batir de alas. Estos sistemas están diseñados específicamente para el monitoreo de polillas

Spodoptera Exeta y *Helicoverpa armigera* mientras vuelan bajo la sombra del detector (Ferreira, Damascena, Valero, Pereira, y Goncalves, 2020).

3.1.2 Trampas electrónicas

El concepto de trampas electrónicas ha aparecido esporádicamente en el pasado con un enfoque en actualizar trampas plásticas típicas con un dispositivo que detecta los insectos entrantes y una capacidad de comunicación para registrar estos conteos. Los primeros esfuerzos se limitaron a paradigmas a pequeña escala que ni se comunicaban entre sí ni podían integrarse en una visión universal del monitoreo de la fauna de insectos (Rigakis, Vidakis, Petousis, y Weber, 2018).

Los enfoques recientes han avanzado hasta el punto de transmitir recuentos de insectos mediante el uso de la funcionalidad del Servicio general de radio por paquetes - GPRS (Potamitis, Rigakis, y Fysarakis, 2015).

El surgimiento del concepto de Internet de las cosas - IoT permite que las redes de dispositivos físicos intercambien e informen junto con la posibilidad de proporcionar servicios de Internet con cobertura global creando nuevas oportunidades de comunicación y cooperación entre e- trampas y una agencia central (Verdouw, Wolfert, y Tekenerdogan, 2016).

El monitoreo automático de insectos a través de la vigilancia de grandes redes de trampas de insectos es una etapa indispensable de MIP para muchos países. Además, es probable que surjan servicios que ahora no existen debido a la restricción de mano de obra como por ejemplo: predicción de infestación / brote a tiempo, sellado de tiempo de las capturas de insectos y su correlación con la eficiencia de los atrayentes, evaluar la actividad nocturna de los insectos, y muchos más (Potamitis, Rigakis, y Fysarakis, 2015).

La trampa electrónica automática diseñada y construida adaptando una trampa de feromona comercial demostró cumplir con los objetivos de la investigación en el monitoreo de la polilla de la manzana desde un servidor remoto. Los resultados obtenidos mostraron que las modificaciones introducidas en las trampas estándar no afectan la capacidad de captura; configurándose para tomar y enviar una foto diaria, lo que permitió una elección más precisa de las técnicas de control y una precisión de los modelos de pronóstico, disminuyendo los costos de personal debido a un menor control de las trampas en el campo. Además el sistema también permite identificación de horas para vuelos masculinos en caso de aplicación de interrupción de apareamiento con sopladores o dispensadores de feromonas de temporización, entre otros (Guarnieri, Maine, Molari, y Rondelli, 2011).

3.1.3 Lentes Fresnel

Tanto en el emisor como en el receptor de luz, se utilizan lentes de Fresnel acrílicos que proporcionan luz colimada y un volumen de sonda - PV que permite la recepción de grabaciones de aleteo rápido de alta calidad (Wang, Hu, Fu, Long, y Zeng, 2017).

La ventaja del lente Fresnel en comparación con una guía de luz es significativa ya que la colimación de la luz proporciona una mejor relación señal / ruido - SNR con un menor consumo de energía, permitiendo la construcción de un sensor más compacto y más fácil de ensamblar. Los lentes acrílicos son rentables en comparación con otro tipo de lentes utilizados en aplicaciones láser (Potamilis y Rigakis, 2016).

3.1.4 Sensores acústicos

Un sensor acústico es un sensor de detección de plagas de insectos que funciona monitoreando el nivel de ruido de las plagas de insectos, colocándose en el campo los nodos de sensores inalámbricos que se conectan a una estación base se colocan en el campo, cuando el nivel de ruido de la plaga cruza el umbral, un sensor transmite esa información a la sala de control, que luego indica con precisión el área de infestación. Estos sensores ayudan a detectar una infestación en una etapa muy temprana, lo que reduce en gran medida el daño a los cultivos. Estas son una gran herramienta para el monitoreo de grandes áreas de campo con muy bajo consumo de energía (Folnovic, 2020).

La aparición de plagas de insectos también se puede monitorear con sensores para la medición del índice de área de la hoja (LAI). La alimentación de plagas de insectos destruye las hojas. Esto hace que las plantas pierdan clorofila. Esto conduce a una reducción en el área total de la hoja y, como resultado, a la reducción de la capacidad de la planta para la fotosíntesis. Al medir el índice del área de la hoja, el sensor puede identificar un ataque de insectos en una etapa temprana para tomar las medidas apropiadas. Este sensor utiliza mediciones de radiación y otros parámetros para calcular con precisión el índice del área de la hoja en tiempo real, en el campo. Este tipo de sensor también se usa para la detección de enfermedades en los cultivos (Agriculturers, 2018).

3.1.5 Sensores a base de imágenes

Los sensores que se basan en imágenes de bajo consumo constituyen un sistema automatizado inalámbrico para el monitoreo de insectos plagas, que se ubican en una sola trampa; este sensor inalámbrico captura de manera periódica las imágenes de lo que contiene la trampa y las remite de forma remota a una

estación de control. Las imágenes remitidas son utilizadas posteriormente para cuantificar las plagas existentes en cada trampa. De acuerdo al número de la población de insectos se puede realizar la planificación y control de las plagas para proteger los cultivos, determinando además cuales son las áreas de campo más afectadas (Seminis, 2018).

3.1.6 Sistema automatizado para la detección e identificación de insectos

Investigadores del Agricultural Research Service (ARS), EEUU, han desarrollado un sistema automatizado de bajo coste para la detección e identificación de insectos, basado en un software que analiza los sonidos que estos emiten mientras se mueven. El sistema aporta datos esenciales para optimizar la implementación de tratamientos y estrategias en el control de plagas. Con el objetivo de desarrollar un sistema asequible, fácil de usar y fiable, los investigadores integraron elementos ya disponibles en el mercado, como sensores (diodos de emisión de luz, micrófonos, y película piezoeléctrica), amplificadores de alto aumento y software para ordenadores portátiles, para poder realizar el análisis de las señales. El sistema utiliza los sensores para recoger señales infrarrojas, acústicas y vibraciones generadas por tres tipos de movimiento de los insectos: serpentear, arrastrarse y raspar. El software analiza las señales para crear un perfil del insecto objetivo, que lo distingue de otras especies (Mankin, 2011).

3.2 Métodos de muestreo y análisis de datos de sensores de detección

3.2.1 Métodos de muestreo de sensores electrónicos

3.2.1.1 Muestreo de laboratorio

Los compuestos de olor se colocan en un sensor electrónico a través de diferentes métodos de recolección, como muestreo de espacio de cabeza,

métodos de difusión, burbujeadores y preconcentradores. Los compuestos orgánicos volátiles de la planta de perfilado se llevan a cabo convencionalmente en una cámara o caja sellada con temperatura y humedad controladas, que simulan el entorno de un invernadero y campo.

En un estudio, se colocaron plantas de arroz con diferentes daños por plagas en el contenedor, y se recogieron compuestos orgánicos volátiles - COV después de 20 minutos para permitir la acumulación de espacio estático antes del muestreo (Zhou y Wang, 2011).

En otro estudio, se empleó una E-nose para tomar muestras de los COV emitidos por las plantas de tomate infectadas con el mildiu polvoriento y el ácaro araña, que se almacenaban en cajas de vidrio transparente. La humedad y la temperatura se registraron en todo momento. Durante el cultivo, se bombeó aire limpio para crear una presión positiva para mantener parámetros ambientales constantes y disminuir el riesgo de contaminación cruzada (Zhang, Iliescu, Hines, y Leeson, 2011).

Los métodos de detección directa son principalmente técnicas de laboratorio de detección de enfermedades. Los más comunes son la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), inmunofluorescencia (IF), hibridación in situ de fluorescencia (FISH), ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA), citometría de flujo (FCM) y cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS). Aunque proporcionan datos precisos, estos métodos no se pueden utilizar para la detección de enfermedades en el campo (Folnovic, 2020).

3.2.1.2 Muestreo de campo

Los continuos cambios en los COV, las temperaturas y la humedad en espacios abiertos han impedido las aplicaciones de campo en gran escala de E-nose. Una

posible solución es cultivar plantas en una cámara de control ambiental de campo bajo luz natural. En un intento informado, las plantas de manzana y pera en macetas de dos años de edad se encerraron en bolsas de plástico o cámaras de teflón y se cultivaron en condiciones de campo en un refugio para la detección de E-nose. La temperatura y la asimilación de CO₂ se controlaron para mantener niveles consistentes (Spinelli, Noferini, Vanneste, y Costa, 2011).

Se realizó otro experimento de detección directamente en el sitio de pudrición del tallo basal en plantas de palma aceitera infectadas y en los suelos circundantes utilizando una E-nose portátil comercial (Cyranose 320). Los resultados mostraron ~ 99% de precisión en la identificación de troncos y suelos infectados de los sanos (Markoni, Shakaf, Adom, y Ahmad, 2011).

La detección de COV de plantas en campos abiertos o invernaderos sigue siendo un gran desafío.

3.2.2 Métodos de análisis de datos

Los análisis de datos utilizando algoritmos se utilizan para realizar clasificaciones cualitativas y predicciones cuantitativas. Ha habido mejoras significativas en las tecnologías de reconocimiento de patrones y se han introducido muchos algoritmos avanzados para los sistemas de sensores. Generalmente, se utilizan dos clases de métodos estadísticos: métodos supervisados y no supervisados. Los métodos supervisados incluyen redes neuronales artificiales - ANN, y se utilizan para clasificar características desconocidas de una clase que tienen las propiedades más comunes basadas en conocimiento previo o probabilidad, distribuciones de muestras de entrenamiento (Yangale, Verliefe, Kim, y Kennedy, 2012).

Los métodos no supervisados, como el análisis de conglomerados, que separa los datos de entrada en diferentes grupos en función de la similitud de características. Para proporcionar una descripción general de las aplicaciones en la determinación de la salud de las plantas, las siguientes secciones revisan los dos enfoques más comunes: análisis de conglomerados y ANN (Villero, 2015).

3.2.2.1 Métodos estadísticos no supervisados

Análisis de conglomerados – CA es una técnica de clasificación no supervisada en la que los grupos se determinan en función de la distancia entre cada punto de datos. El algoritmo de agrupación más común es el método de variación mínima de Ward, que minimiza los datos totales dentro de la variación de agrupación. El dendrograma resultante muestra la conectividad y la distancia entre cada uno de los grupos, en la que cuanto más corta es la distancia, más similares son las muestras (Belous, 2016).

Un dendrograma de CA proporciona una forma sencilla de mostrar similitud de clúster con resultados semicuantitativos (Markoni, Shakaf, Adom, y Ahmad, 2011).

3.2.2.2 Métodos estadísticos supervisados

Las redes neuronales artificiales - ANN son algoritmos de aprendizaje supervisados y son más conocidos por sus buenas propiedades de adaptabilidad en el aprendizaje, la generalización y la tolerancia al ruido, lo que los hace adecuados para procesar datos no lineales. Los ANN son capaces de aprender de los datos de entrada y optimizar los pesos de las neuronas en tiempo real a través del entrenamiento iterativo y el autoajuste (Alessandrini, 2015).

Los ANN consisten en múltiples capas de neuronas, que dependen de la complejidad del sistema, cuyos resultados dependen del diseño del experimento; debido a su robustez y autoadaptabilidad, han sido introducidos en los sistemas de sensores para proporcionar un análisis cuantitativo preciso (Boada, 2013).

En estudio realizado para detectar palmeras de aceite infestadas con la enfermedad de la pudrición del tallo basal, se utilizó una nariz electrónica combinada con una ANN como el método principal de reconocimiento de patrones, estableciéndose una red típica de tres capas, con una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida. La clasificación fue 100% exitosa al usar el perceptrón multicapa y los algoritmos de red neural probabilísticos, mientras que se logró una tasa de éxito del 97.5% al usar el algoritmo de funciones de base radial - RBF. Los tres métodos son métodos ANN pero utilizan diferentes tipos de supervisión (Abdullah, Shakaff, Zakaria, y Saad, 2014).

3.2.3 Método de detección de enfermedades por cromatografía de gases

Este es un sensor no óptico utilizado para la detección de enfermedades en los cultivos y se utiliza para determinar compuestos químicos volátiles liberados por las plantas infectadas. Los patógenos en las plantas liberan compuestos orgánicos volátiles específicos (COV) que son característicos de cada tipo de patógeno. Lo mismo sucede cuando la planta está estresada debido a daños mecánicos. A este respecto, los sensores que utilizan la cromatografía de gases pueden identificar con precisión el tipo y la naturaleza de la infección. La única falta de este método es el muestreo requerido de compuestos orgánicos volátiles previamente recolectados por un tiempo más largo antes del análisis de datos, lo que limita severamente su aplicación en el campo (Mahlein, Oeske, Steiner, y Dehne, 2012).

3.2.4 Método de detección de enfermedades por termografía

Los sensores de termografía miden las diferencias en la temperatura de la superficie de las hojas y el dosel de las plantas. El sensor captura la radiación infrarroja emitida desde la superficie de la planta. Si hay una infección por patógenos, la temperatura de la superficie de la planta aumentará debido a la reducción de la transpiración. Según el cambio de temperatura, el sensor puede analizar la presencia de enfermedades. Los sensores de termografía pueden detectar los cambios debidos a la enfermedad incluso antes de que aparezca (Calderón, Zarco, Navas, Landa, y López, 2018).

El control de enfermedades de precisión es limitado debido a su alta sensibilidad al cambio de condiciones ambientales durante las mediciones. Otro problema es que el método de termografía no se puede utilizar para identificar el tipo de infección (Ángeles, Robles, y Simancas, 2018).

3.2.5 Método de detección de enfermedades por fluorescencia

Los sensores que utilizan el método de fluorescencia miden la fluorescencia de la clorofila en las hojas y miden la luz incidente y el cambio en los parámetros de fluorescencia. Mide los cambios en la clorofila y la actividad fotosintética, detectando así la presencia de patógenos. Aunque la medición de la fluorescencia proporciona una detección sensible de anomalías en la fotosíntesis, la aplicación práctica de esta técnica en un entorno de campo es limitada (González, 2017).

3.2.6 Método de detección de enfermedades hiperespectrales

Los sensores que implementan el método hiperespectral utilizan una amplia gama de espectro, entre 350 y 2500 nm, para medir la salud de las plantas. Miden los cambios en la reflectancia que son el resultado de los cambios

característicos biofísicos y bioquímicos experimentados tras la infección. Las cámaras hiperespectrales recopilan los datos en tres dimensiones, con los ejes X e Y para el espacio y Z para el espectral, lo que proporciona información más detallada y precisa sobre la salud de las plantas. Para monitorear un área de campo grande, los sensores generalmente se instalan en un vehículo aéreo no tripulado - UAV (Calderón, Navas, y Zarco, 2015).

3.3 Ventajas y desventajas del uso de los dispositivos de detección de plagas

3.3.1 Ventajas de los dispositivos de detección de plagas

En todo terreno, es importante mantener un ambiente óptimo para el crecimiento adecuado del cultivo y para evitar que alguna plaga pueda infestarlo. La instalación de sensores inteligentes facilita el control de plagas y enfermedades producidas por hongos, detectando su presencia antes de que puedan expandirse y dañar los cultivos. Esto resulta una gran ventaja ya que no solo mejora la calidad de los productos, sino que también significa un ahorro de costos por la reducción de uso de fertilizantes y pesticidas (Convergencia, 2019).

Los agricultores usan este sensor para monitorear grandes áreas con muy bajo consumo de energía. Los sensores de baja imagen brindan muchos beneficios en la producción agrícola. Algunos de ellos son:

- Reducción significativa de los costos de monitoreo de plagas
- No se requiere intervención humana en el campo
- Aplicable para áreas pequeñas y grandes.
- Bajo costo de mantenimiento
- Monitoreo de plagas de insectos en tiempo real (Folnovic, 2020).

3.3.2 Desventajas de los dispositivos de detección de plagas

Como desventaja del uso de redes de sensores inalámbricos en el manejo de plagas se puede indicar que éstas requieren alimentación energética y los equipos empleados consumen energía, el mismo que depende del tipo de configuración y las aplicaciones que se generen (Guaña, 2016).

Una desventaja de los sistemas actuales de imágenes de fluorescencia de clorofila es que la preparación de las plantas tiene que seguir un protocolo estricto y, por lo tanto, es difícil de implementar en invernaderos agrícolas normales o entornos de campo. Por lo tanto, la investigación se ha dirigido a la extracción de parámetros de fluorescencia de la reflectancia inducida por el sol en el campo, lo que tendría potencial para la evaluación de enfermedades de las plantas a nivel del dosel o del campo (Mahlein, 2016).

Otras desventajas del uso de una red de sensores inalámbricos son:

- **Tamaño de sensores:** Debido al tamaño pequeño de los nodos sensores presentan limitaciones de hardware, recursos de energía y memoria.
- **Rangos de transmisión:** Los nodos son capaces de entrar en funcionamiento de acuerdo a la demanda de la red, sin embargo, para ahorrar energía generalmente están fuera de línea.
- **Interfaces:** Las interfaces de las WSN están diseñadas para ciclos de tareas optimizados, con complejidad de sistema reducida para funcionamiento de energía ultra baja.
- **Recurso de energía:** Al poseer limitaciones de hardware ase casi imposible la implementación de fuentes de energía grandes, por ello es importante el combatir este punto mediante software, aplicando algoritmos que posibiliten el ahorro de energía.

- **Costos:** en la actualidad existen varias opciones para la implementación de las WSN, pero en ciertos casos el costo limita la aplicación, la cantidad de nodos estará directamente relacionada con la implementación de la red.
- **Facilidad de fallos:** Al instalar la WSN en territorios problemáticos, pueden presentarse fallos por la falta de infraestructura o por factores climáticos (Vela, 2016).

También se pueden considerar las siguientes desventajas de los sensores de control de plagas inalámbricos:

- Falta de conocimiento tecnológico en los agricultores
- El costo adicional está involucrado
- La solución de prospectos es compleja de adoptar o implementar y requiere soporte técnico completo en todos los aspectos.
- Dificultades para hacer una solución general para diferentes problemas debido a situaciones variantes.
- Los principales trabajos de investigación presentan las soluciones en partes: algunos se centran en el procesamiento y almacenamiento de datos, mientras que otros son la adquisición de datos o el modelado de contexto
- Las piezas interconectadas complejas o que a veces no están disponibles reducen la relación de adaptabilidad de la solución

Por lo tanto, existe la necesidad de incrementar la aplicación de WSN y soluciones basadas en sensores a escala industrial. Para este propósito, se deben tomar las siguientes medidas drásticas

- Desarrollo de sensores locales, resilientes y extremadamente económicos.
- Soluciones generalizadas basadas en cultivos para resolver diferentes problemas que pueden incluir tecnologías de detección únicas o combinadas

- Tenemos la oportunidad de construir un marco común completo desde la adquisición de datos meteorológicos para el modelado y la implementación hasta el apoyo a la conclusión.
- Debe fomentarse la solución de segmentos, pero tenemos que trabajar en procedimientos de interconexión compatibles completos y detallados que puedan hacer que nuestra solución planificada sea completa y precisa.

4. Conclusión

En base a lo expuesto en el presente trabajo monográfico se concluye lo siguiente:

Se han desarrollado trampas de detección automática para muchas plagas importantes, siendo estas técnicas y nuevas tecnologías muy prometedoras para la detección temprana y el seguimiento de plagas agresivas y cuarentenarias; utilizando métodos de identificación de plagas basados en sensores infrarrojos, sensores de audio y clasificación basada en imágenes, incluyendo el aprendizaje automático e Internet de las cosas. La identificación y el monitoreo de plagas de insectos mediante trampas automáticas aporta un enfoque novedoso al manejo integrado de plagas. Los sistemas que utilizan técnicas de reconocimiento de imágenes y redes neuronales son los más estudiados, siendo fiables para la identificación totalmente automatizada de órdenes y conteo de insectos; sin embargo, no muchos modelos propuestos pueden identificar el nivel de especie. Otros sistemas basados en imágenes tienen como objetivo enviar la imagen del insecto a un especialista y luego los insectos podrían identificarse y contarse de forma remota en tiempo real. Se ha evidenciado que las trampas con sensores infrarrojos son útiles para contar insectos, pero son limitadas porque no pueden identificar la especie. Las trampas de audio son otro enfoque profundamente estudiado para monitorear plagas.

Para el análisis y procesamiento de imágenes se utilizan diversos métodos y tecnologías informáticas avanzadas que permiten identificar las plagas directamente. Los avances futuros en los métodos de monitoreo de campo basados en tecnología contribuirán significativamente en la identificación de plagas y un control más eficiente y temprano.

Con el objetivo de producir suficientes alimentos para alimentar a la creciente población y asegurar un futuro sostenible para la sociedad, los agricultores necesitan toda la ayuda que puedan obtener para mejorar los cultivos. Esto se puede lograr mediante el uso de sensores en la detección temprana de plagas en los cultivos, con la finalidad de aumentar los rendimientos y proteger el medio ambiente. Estos nuevos sistemas prometen facilitar pronto la implementación de sistemas MPI. El registro de datos será útil para estudios de dinámica de poblaciones y, si está relacionado con datos climáticos, se puede utilizar en sistemas de apoyo a la toma de decisiones y proporcionar información en tiempo real sobre el riesgo de infestación de plagas.

5. Recomendaciones

De acuerdo con el análisis realizado en el trabajo de investigación se realizan las siguientes recomendaciones:

Utilizar las redes de sensores inalámbricos como técnicas para el manejo de plagas con la finalidad de detectar enfermedades de cultivos y plagas de insectos de manera temprana para asegurar un buen rendimiento y productividad.

Emplear los métodos de muestreo y análisis de datos de las tecnologías de detección de plagas para mejorar el rendimiento de los cultivos.

Desarrollar sensores locales, resilientes y extremadamente económicos para la detección temprana de plagas que permitan una sostenibilidad agrícola.

6. Bibliografía

- Abdullah, A., Shakaff, A., Zakaria, A., & Saad, F. (2014). Aplicación de nariz electrónica específica para la detección de ganoderma boninense utilizando una red neuronal artificial. *Actas de la 2° Conferencia internacional sobre diseño electrónico* (págs. 148-152). Malasia: ICED.
- Adedeji, A., Rady, A., Villanueva, R., & Parrish, C. (2020). Tecnologías no destructivas para detectar la ingestación de insectos en frutas y verduras en condiciones de poscosecha. *Foods*, 9(927), 2-28.
- Agriculturers. (2018). *El uso de los sensores para optimizar el manejo integrado de plagas*. Obtenido de <https://agriculturers.com/el-uso-de-los-sensores-para-optimizar-el-manejo-integrado-de-plagas/>
- Alessandrini, N. (2015). Métodos estadísticos supervisados. *Aplicación de algoritmos de aprendizaje estadísticos para predecir velocidades de buses con información en tiempo real*, 7-10. Santiago de Chile, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Ali, K., & Ahmed, F. (2020). Aplicaciones de la imagen térmica en la agricultura. *Advances in remote sensing*, 3(3), 128-140.
- Ángeles, M., Robles, D., & Simancas, E. (2018). Detección de enfermedades causada por *Fusarium oxysporum* en jitomate cultivado en invernadero. *Ingenierías*, XXI(81), 45-81.
- Azfar, A., Ahsan, K., Nadeem, A., & Alkhodre, A. (2018). Técnicas de monitoreo y detección de plagas y enfermedades agrícolas. *Revista internacional de informática avanzada y aplicaciones*, 9(12), 424-433.

- Barbedo, J. (2013). Método automático para contar y medir moscas blancas en hoja de soja mediante procesamiento de imágenes digitales. *IX Congreso brasileño de agroinformática*. Guibá.
- Belous, O. (2016). Diagnóstico del estado funcional de las plantas subtropicales mediante análisis de conglomerados. *Revista de industria alimentaria*, 10, 237-242.
- Blasco, J., Sanjuan, S., Chueca, P., & Fereres, A. (2019). Dispositivo de captura y envío de imágenes a un servidor remoto para monitorizar trampas para insectos en el campo. *X Congreso Ibérico de Agroengenharia*. España: Huesca.
- Boada, R. (2013). Métodos estadísticos supervisados. *Artificial Neural Network (ANN) como método de simulación de lechos fluídos bidimensionales burbujeantes*, 25. Leganés, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Calderón, R., Navas, J., & Zarco, P. (2015). Detección y cuantificación precoces de la marchitez por *Verticillium* en el olivo mediante imágenes hiperespectrales y térmicas en grandes áreas. *Remote sensing*, 7(5), 5584-5610.
- Calderón, R., Zarco, P., Navas, J., Landa, B., & López, M. (2018). Detección de enfermedades de cultivos mediante imágenes hiperespectrales y térmicas de alta resolución. *Precisión Agriculture*, 15(6), 639-661.
- Chen, J., Fan, Y., Wang, T., Zhang, C., & Qiu, Z. (2018). Segmentación automática y recuento de ninfas de áfidos en hojas mediante redes neuronales convolucionales. *Agronomía*, 8, 129.
- Convergía. (2019). *Ventajas de implementar sensores IoT en el sector agrícola*. Obtenido de Convergía: <https://www.convergía.net.mx/cuales-son-las-ventajas-de-implementar-sensores-iot-en-el-sector-agricola/>

- Cui, S., Ling, P., & Keener, H. (2018). Detección de plagas de plantas utilizando un sistema de nariz artificial: Una revisión. *Sensores*, 18(2), 1-36.
- Dey, A., Bhouni, K., & Dey, K. (2016). Detección automática de plagas de mosca blanca mediante métodos de extracción de características estadísticas y clasificación de imágenes. *Revista Internacional de Investigación de Ingeniería y Tecnología*, 3, 950-959.
- Ebrahimi, M., Khoshlaghaza, M., & Minaei, S. (2017). Detección de plagas basada en la visión y el método de clasificación SVM. *Informática y Electrónica en Agricultura*, 137, 52-58.
- Ferreira, M., Damascena, M., Valero, C., Pereira, L., & Goncalves, C. (2020). Detección y monitoreo automático de insectos plagas. *Agriculture*, 10(161), 2-24.
- Folnovic, T. (2020). *Sensores para la detección de plagas de cultivos*. Obtenido de Agrivi: <https://agrivi.com/post/farm-revolution-sensors-for-crop-pest-detection>
- Ghods, S., & Shojaeddini, V. (2015). Un nuevo método automatizado de análisis de imágenes para contar la población de moscas blancas en las hojas de los cultivos. *Revista de protección de cultivos*, 5, 59-73.
- González, R. (2017). Evolución de técnicas de diagnóstico de virus fitopatógenos. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(3), 591-610.
- Guaña, E. (2016). Diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura. *Tesis de posgrado*, 18. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

- Guarnieri, A., Maine, S., Molari, G., & Rondelli, V. (2011). Trampas automáticas para la detección de polillas en el manejo integrado de plagas. *Boletín de insectología*, 64(2), 247-251.
- Gutierrez, A., Ansuastegui, A., Susperregi, L., Turbío, C., & Lenza, L. (2019). Una evaluación comparativa de estrategias de aprendizaje para la detección e identificación de plagas en plantas de tomate para robots de exploración autónomoa utilizando bases de datos internas. *Revista Sensores*.
- Jiang, J., Tseng, C., Lu, F., Yang, E., Wu, Z., & Chen, C. (2008). Un sistema de monitoreo automático inalámbrico remoto basado en GSM para información de campo: n estudio de caso para monitoreo ecológico de la mosca oriental de la fruta, *Bacrocera dosalis* (Hendel). *Informática electrónica en agricultura*, 62, 243-259.
- Li, W., Chen, P., Wang, B., & Xie, C. (2019). Localización y recuento automático de plagas de cultivos agrícolas basados en un proceso de aprendizaje profundo mejorado. *Scientific Reports*, 9, 1-11.
- Liu, B., Hu, Z., & Zhao, Y. (2019). Robot agrícola para la detección inteligente de insectos Pyralidae. En J. Zhou, & B. Zhang, *Robots agrícolas: Fundamentos y aplicación*. Intech Open.
- Liu, T., Chen, W., & Wu, W. (2016). Detección de pulgones en campos de trigo utilizando una técnica de visión por computadora. *Revista Ingeniería de Biosistemas*, 141(1), 82-93.
- Lu, C., Rustia, D., & Lin, T. (2019). Aumento de imagen basado en red generativa de adversarios para mejorar la clasificación de plagas de insectos. *IFAC Papers on line*, 52(1), 1-5.

- Maharlooei, M., Sivarajan, S., & Bajwa, S. (2017). Detección de pulgones de la soja en un invernadero mediante una técnica de procesamiento de imágenes. *Informática y electrónica en Agricultura*, 132, 63-70.
- Mahlein, A. (2016). Detección de enfermedades de plantas por sensores de imágenes: paralelos y demandas específicas para agricultura de precisión y fenotipificación de plantas. En A. Karasev, *Enfermedades de las plantas* (Vol. 100, pág. 246). Alemania: APS publicaciones.
- Mahlein, A., Oeske, E., Steiner, V., & Dehne, H. (2012). Avances recientes en la detección de enfermedades de las plantas para la protección de cultivos de precisión. *Revista Europea de patología vegetal*, 133, 191-209.
- Mankin, R. (2011). *Sistema de monitorización de plagas basado en sonidos*. Obtenido de higiene ambiental: www.higieneambiental.com/control-de-plagas-de-sistema-de-monitorizacion-de-plagas-basado-en-sonido
- Markoni, M., Shakaf, A., Adom, A., & Ahmad, M. (2011). Sistema inteligente de nariz electrónica para la detección de la enfermedad de pudrición basal. *Computación y electrónica Agrícola*, 66, 140-146.
- Martín, B., Shaby, S., & Premi, M. (2015). Estudio sobre la actividad acústica del Picudo rojo de las palmeras, la plaga mortal en los cultivos de coco. *Procedia Mater Sci.*, 10(1), 455-466.
- Núñez, E., Sberveglieri, V., Ponzoni, A., Galsvan, V., Zappa, D., Pulvirenti, A., & Comini, E. (2017). Detección de microbiota de patógenos alimentarios y cutáneos por medio de una nariz electrónica basada en quimiorresistores de óxido metálico. *Sensores y actuadores B: Química*, 238, 1224-1230.
- Plan toda una vida. (2017). *Marco Legal*. Obtenido de todaunavida: <https://www.todaunavida.gob.ec/programas-y-misiones/>

- Potamitis, I., & Rigakis, I. (2016). Dispositivos optoelectrónicos de gran apertura para registrar y marcar los tiempos de los insectos. *IEEE Sensors*, 16(15), 6053-6061.
- Potamitis, I., Rigakis, I., & Fysarakis, K. (2015). Biometría de insectos: procesamiento de señales optoacústicas y sus aplicaciones para el monitoreo remoto de trampas tipo Mc Phail. *PloSOne*, 10(11), 4-8.
- Potamitis, I., Rigakis, I., Vidakis, N., Petousis, M., & Weber, M. (2018). Sensores ópticos bimodales asequibles para difundir el uso del control automático de insectos. *Revista Sensores*, 1-25.
- Prakash, T., & Ramanujan, R. (2015). Captura electrónica y monitoreo de plagas de insectos que preocupan los campos agrícolas. *Revista internacional de investigación y tecnología de ingeniería*, 3(8), 206-213.
- Rigakis, I., Vidakis, N., Petousis, M., & Weber, M. (2018). Sensores ópticos biomodales asequibles para difundir el uso de la monitorización automatizada de insectos. *Sensores*, 2018, 5-30.
- Sánchez, J. (2016). Sensores ópticos. *Sistemas de monitoreo agrícola con tecnología inalámbrica y generación de alertas para la prevención temprana de plagas y enfermedades en el cultivo de papa en la parroquia Quimiag del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo*, 17. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Seminis. (2018). *Sensores agrícolas: innovación para la optimización de recursos*. Obtenido de <https://www.seminis.mx/sensores-agricolas-innovacion-para-la-optimizacion-de-recursos/>

- Spinelli, F., Noferini, M., Vanneste, J., & Costa, G. (2011). Potencial de la nariz electrónica para el diagnóstico de enfermedades bacterianas y fúngicas en árboles frutales. *EPPO Bull*, 40, 56-67.
- Suo, X., Liu, Z., Sun, L., Wang, J., & Zhao, Y. (2017). Identificación y conteo de áfidos basados en teléfonos inteligentes y visión artificial. *Revista Sensores*, 1-7.
- Thenmozhi, K., & Reddy, U. (2019). Clasificación de plagas de cultivos basada en una red neuronal convolucional profunda y aprendizaje de transferencia. *Informática y Electrónica en Agricultura*, 164, 8-17.
- Vela, A. (2016). Estudio de la agricultura de precisión: Enfocado en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el monitoreo de humedad y temperatura de cultivos - caso de estudio Hacienda Cabalinus. *Revista Politécnica*, 38(1), 1-17.
- Verdouw, C., Wolfert, S., & Tekenerdogan, B. (2016). Internet de las cosas en agricultura. *CABI*, 11(35), 3-5.
- Villero, J. (2015). Análisis conglomerado. *Aplicación de técnicas estadísticas, quimiométricas y cualimétricas a datos analíticos de control rutinario en un laboratorio cervecero*, 33. Málaga, España: Universidad de Málaga.
- Wang, R., Hu, C., Fu, X., Long, T., & Zeng, T. (2017). Medición por micro - Doppler de las frecuencias de batidos de alas de insectos con radar coherente de banda W. *Informes científicos*, 7(1), 1396.
- Xia, C., Chen, T., Ren, Z., & Lee, J. (2015). Identificación y conteo automático de plagas de pequeño tamaño en condiciones de invernadero con bajo costo computacional. *Informática ecológica*, 29(1), 139-146.

- Yangale, V., Verliefde, A., Kim, T., & Kennedy, M. (2012). Modelos de redes neuronales artificiales basada en QSAR para predecir el rechazo de compuestos orgánicos neutros por nanofiltración de poliamida y membramas de ósmosis inversa. *Membrane Science*, 342, 251-262.
- Zhang, F., Iliescu, D., Hines, E., & Leeson, M. (2011). Monitoreo de la salud de las plantas de tomate: un enfoque electrónico. En *Sistemas inteligentes para el olfato de máquinas: herramientas y metodologías* (págs. 231-248). Hershey, USA: IGI Global.
- Zhou, B., & Wang, J. (2011). Discriminación de diferentes tipos de daños de plantas de arroz por nariz electrónica. *Ingeniería de biosistemas*, 109, 250-257.

7. Glosario

Compuestos orgánicos volátiles (VOCs): Sustancias que contienen los productos químicos que se convierten fácilmente en vapores o gases.

Cromatografía de gases: Es una técnica analítica que puede ser utilizada para separar compuestos orgánicos basada en sus volatilidades. También provee información cualitativa y cuantitativa de los componentes presentes en una mezcla.

Depredador: Enemigo natural que captura otros organismos animales y se alimenta de ellos, matando algunos durante su vida.

Dispersión (de una plaga): Expansión de la distribución geográfica de una plaga dentro de un área.

E-nose: Una nariz electrónica es un sistema electrónico con capacidad analítica cuya finalidad es detectar los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) que forman parte de una muestra olorosa pudiendo de esa forma reconocerla o discriminarla dentro de un conjunto de sustancias olorosas.

Fluorescencia: Es un fenómeno foto-físico de las moléculas de clorofila que permite estudiar la función del fotosistema II durante el transporte electrónico en la fotosíntesis y la sensibilidad del PSII al daño que puede sufrir por efecto de diferentes estreses, y las consecuencias que esto tiene en el proceso

Imagen hiperespectral: Es una imagen que tiene varias bandas espectrales de información a través de todo el espectro electromagnético. La longitud de onda es la longitud de ciclo de una onda, que puede ser medida como la distancia entre dos crestas de ondas sucesivas

Infestación: Presencia en un producto de una plaga viva de la planta o producto vegetal de interés.

Monitoreo: Proceso oficial continuo para verificar situaciones fitosanitarias.

Severidad: Se refiere al porcentaje órgano afectado de la planta por una plaga que será determinado por diagnóstico visual y expresado en porcentaje.

8. Anexos

Tabla 1. Detalle de sensores y los insectos-plagas

Sensores	Insectos-plagas
Sensor óptico con atrapamiento: dispositivos de visión nocturna	Insectos nocturnos como escarabajo, orugas, thrips, entre otros
Sensor óptico con atrapamiento: dispositivos óptico electrónico	Polillas, Spodoptera, Helicoverpa, entre otros.
Trampas electrónicas	Insectos voladores como mosca blanca, lepidópteras, coleópteras, entre otras.
Lentes Fresnel	Mosca de la fruta, lepidópteras, coleópteras, entre otras.
Sensores acústicos	Chupadores, barrenadores
Sensores a base de imágenes	Topo tipo de insectos-plaga
Sistema automatizado para detección e identificación de insectos	Topo tipo de insectos-plaga

Se describe el uso de los sensores en los diversos insectos-plagas
Alcívar, 2020

Tabla 2. Investigaciones realizadas para detectar insectos-plagas mediante el uso de sensores

No.	Grupo de insectos	Sensores	Técnica de detección automática	Eficacia	Autores
1	Pulgones	Cámara Sony, imágenes de hojas	matiz, componentes de intensidad y algoritmo de similitud	>90%	Maharlocei et al., 2017
2	Pulgones	Cámara digital, imágenes de hojas de pakchoi	Redes neuronales convolucionales	>80%	Chen et al., 2018
3	Pulgones	Trampas adhesivas amarillas y cámara de teléfono inteligente	Método GrabCut, algoritmo OTSU y extracción de límites	95%	Xuesong et al., 2017
4	Pulgones	Cámara digital, imágenes a nivel de campo	Descriptor de región extremal máximamente estable para simplificar el fondo de las imágenes de campo que contienen pulgones, y luego usó histogramas de características de gradiente orientadas y una máquina de vectores de soporte	86%	Liu et al., 2016
5	Insectos barrenadores	Tornillo con sensor piezoeléctrico y almacenado en una grabadora de audio	Programa de análisis de señales de insectos personalizado: digitar, analizar, ver, sonidos de insectos	79 - 84%	Mankin et al., 2009
6	Moscas de la fruta	Sensores par medir l velocidad del viento, temperatura y humedad, microcontrolado, módulo GSM, receptor GIS, OC y dispositivo contador de infrarrojo	Sistema complejo basado en una plataforma de monitoreo remoto y una plataforma de control de plaga	72 - 92%	Jiang et al., 2008
7	Moscas de la fruta	Trampas con lentes Fresnel y dispositivo de grabación estereo de aleteo asociado	Clasificador de vectores de soporte lineal, máquina de vectores de soporte de función radial, red neuronal convolucional	98 - 99%	Potamitis et al., 2018

Continuación Tabla 2.

No.	Grupo de insectos	Sensores	Técnica de detección automática	Eficacia	Autores
8	Lepidopteras, Coleoptera, orthoptera	Base de datos de imágenes	Redes neuronales convolucionales profundas con aprendizaje y transferencia	95 - 97%	Thenmozhi y Reddy, 2019
9	Plagas chupadores	Trampas adhesivas con escaner	Convertir imágenes a YCBCr, segmentación por cuenca; características de color y distancia de Melanobis, más del 80% relacionado con el conteo humano		Xia et al., 2015
10	Plagas chupadores	Trampas adhesivas amarillas, cámara Raspberry Ppi V2	Modelo de clasificador de red neuronal convolucional (CNN) a través de un aumento de imágenes de red generativa adversarial (Gan)	85 - 95%	Lu et al., 2019
11	Psilidos	Cámara Raspberry P1 V2 (3280 x 2464 pixeles)	Trampa par insectos que permite la recopilación y almacenamiento automático de imágenes en un servidor		Blasco et al., 2019
12	Lepidopteras	Coche robot movil con cámara	Conversión a espacios MSU, extracción de la matriz espacial, normalización del histograma, segmentación otsu y reconocimiento de contorno de objetos basado en momentos Hu	94%	Liu et al., 2019
13	Picudo de las palmeras	Grabadora de voz digital y cámara insonorizada	Análisis de frecuencia y desibeles		Martin et al., 2015

Continuación Tabla 2.

No.	Grupo de insectos	Sensores	Técnica de detección automática	Eficacia	Autores
14	Thrips	Cámara digital montada en el brazo del robot para capturar las imágenes de las flores	Admite el método de clasificación de la máquina vectorial con índice de región e intensifica el índice de color	>97%	Ebrahimi et al., 2017
15	Ácaros del trigo	Base de datos de imágenes	Red neuronal convolucional del modelo de Seiler y Fergus, y una red de propuesta de región con supresión no máxima	88%	Li et al., 2019
16	Ácaros del trigo, Saltamontes de arroz	Cámara CCD sony CX-10	Red neuronal convolucional profunda		Wang et al., 2020
17	Mosca blanca	Cámara acoplada a un tubo de 10 cm de diámetro	Máscaras binarias que utilizan transformación de color y umbral fijo.	83 - 95%	Barbedo, 2013
18	Mosca blanca	Base de datos de imágenes	Forma, intensidad de escala de Cray y análisis de textura	74 - 85%	Ghods y Shoajeddini, 2015
19	Mosca blanca	Base de datos de imágenes	Matriz de longitud de ejecución de nivel de gris y matriz de co-ocurrencia de nivel de gris. Varios clasificadores como máquina de vectores de soporte, red neuronal artificial, clasificador bayesiano, clasificador de árbol de decisión binario y clasificador de vecino más cercano k	90 - 98%	Dey et al., 2016
20	Trialeurodes zaparariorius y Bemisia tabacci	Generador de dataset automático, que está compuesto por dos cámaras, dos trípodes, dos memorias USB, dos sistemas de iluminación artificial, una caja IP65 y un enrutador portátil Wi-Fi 4G	Vecino K-más cercano y perceptrón multicapa	66 - 80%	Gutierrez et al., 2019

Tabla 3. Aplicaciones de nariz electrónica en varios sectores agrícolas

Sector agricultor	Áreas de aplicación específicas
Agronomía / horticultura	Protección de cultivos
	Selección y discriminación de cultivares
	Detección de plaguicidas
	Planificar cultivo celular
Botánica	Olores florales
	Identificación de plantas
	Detección de volátiles vegetales
	Determinaciones taxonómicas
Ecología	Roles de nicho en el ecosistema
	Identificación de especies vegetales y animales
Entomología	Detecta insectos o volátiles vegetales inducidos
	Identificación de insectos y daño a las plantas.
Silvicultura / Silvicultura	Clasificar / identificar tipos de madera
	Protección de la salud forestal
	Manejo forestal
Patología de planta	Detección y seguimiento de enfermedades
	Identificación de plagas
	Identificación de patógenos

Se describen las aplicaciones de nariz electrónica en varios sectores agrícolas
Alcívar, 2020



Figura 1. Trampa con sensor, imagen del contenido de la trampa y sensor inalámbrico de imagen

Agrivi, 2018

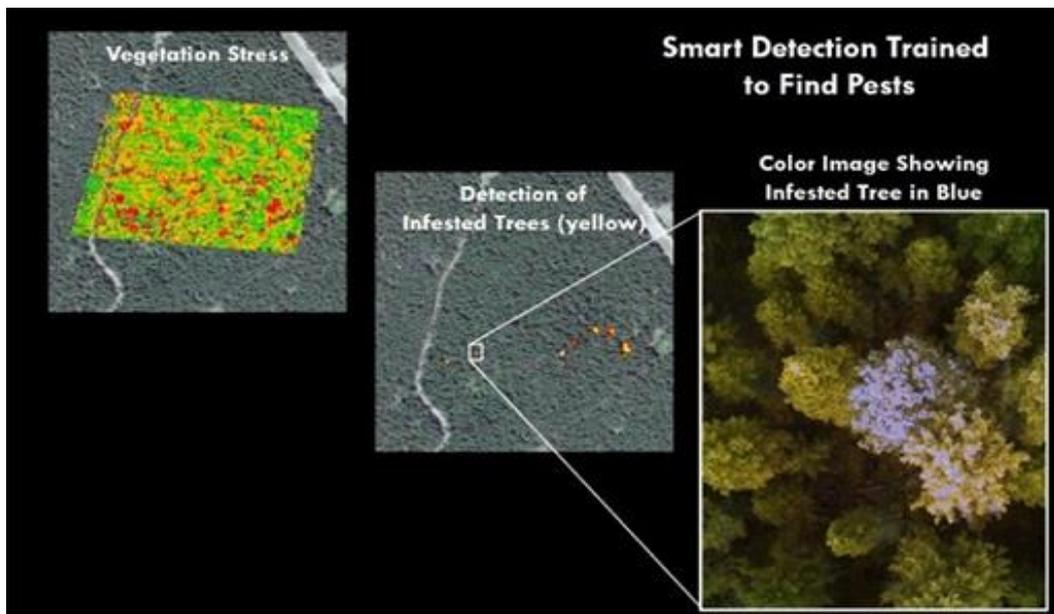


Figura 2. Mapa satelital del sensor de detección de plagas

Folnovic, 2020

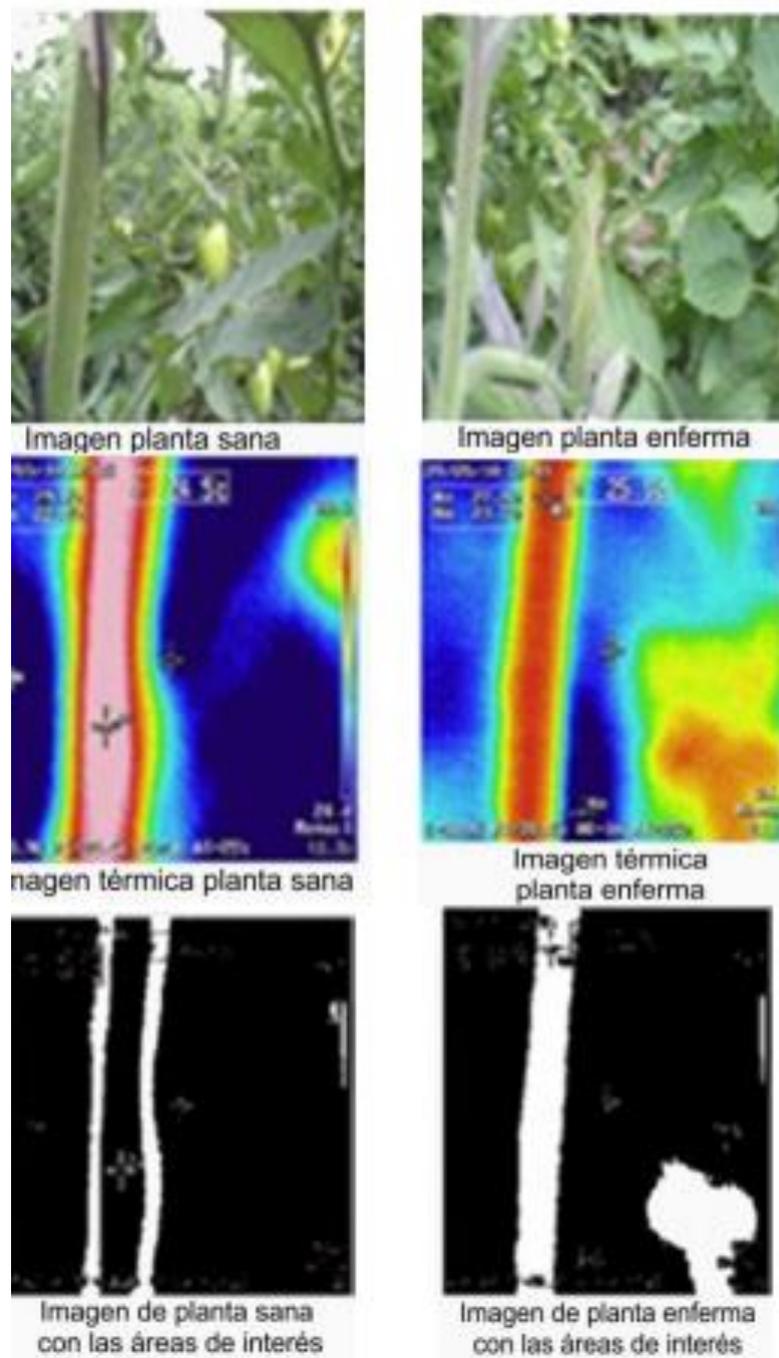


Figura 3. Imágenes del procesamiento aplicado a imágenes de una planta

Ángeles, Robles, y Simancas, 2018



Figura 4. Cámara termográfica IR
Ángeles, Robles, y Simancas, 2018



Figura 5. Trampa McPhail equipada con lente de Fresnel
Potamilis & Rigakis, 2016



Figura 6. Trampa automática con sensor de infrarrojos para *Bactrocera dorsalis*

Jiang et al., 2008

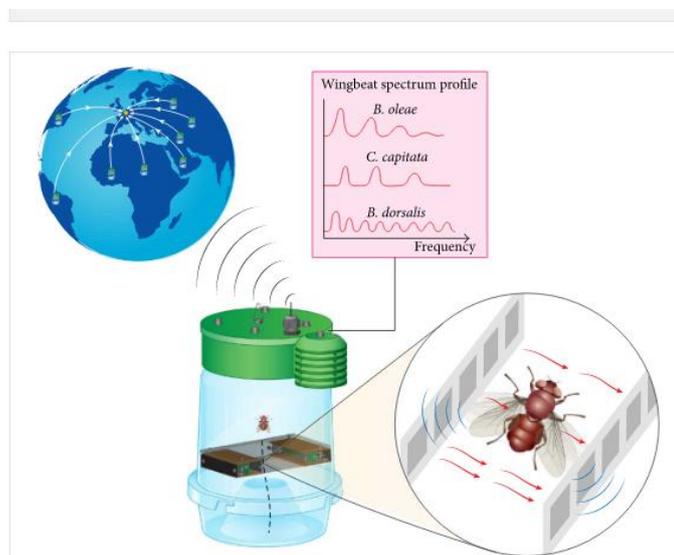


Figura 7. Monitoreo de batir d alas con IoT e inteligencia artificial

Potamitis et al., 2018



Figura 8. Herramienta de etiquetado de imágenes

Gutierrez et al., 2019

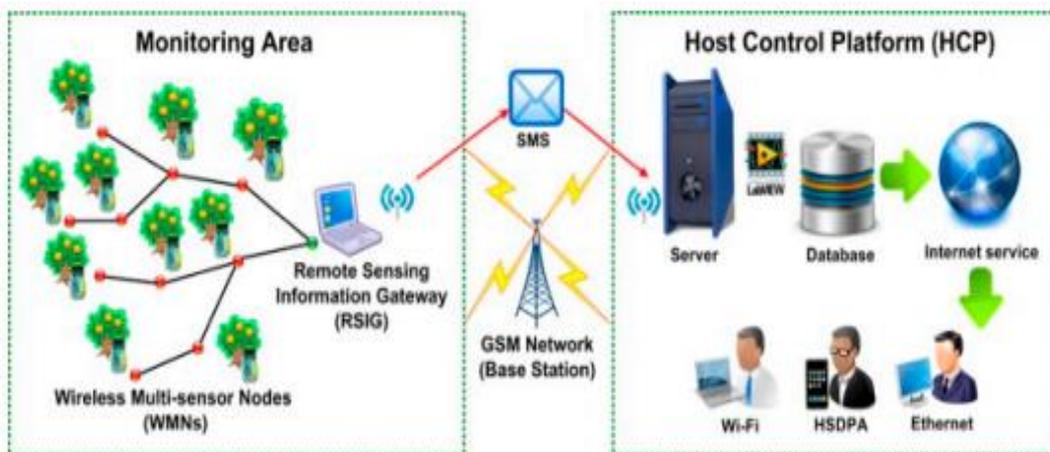


Figura 9. Diagrama de bloques que integra tecnologías en el sistema de monitoreo agroecológico remoto

Ferreira et al., 2020