

Situación actual de la aplicación y potenciales usos de la visión artificial en la entomología agrícola en Panamá

Current situation of the application and potential uses of artificial vision in agricultural entomology in Panama

Randy Atencio V. ^{1,3} , Edmanuel Cruz ^{2*,3} 

1 Centro de Innovación Agropecuaria de Divisa (CIAD), Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

2 HUMAIND, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.

3 Sistema Nacional de Investigación (SNI) SENACYT, Ciudad de Panamá 0816, Panamá.

randy.atencio@gmail.com

Fecha de recepción: 16 de septiembre de 2022; Fecha de aprobación: 6 de octubre de 2022

***Autor de correspondencia:** Edmanuel Cruz (edmanuel.cruz@utp.ac.pa)

RESUMEN. Variables como el cambio climático, las sequías, los huracanes, la deforestación y el uso indiscriminado de plaguicidas desencadenan constantemente la presencia de insectos plagas en el país, así como de potenciales plagas invasoras que encuentran las condiciones necesarias para establecerse y causar daños en los cultivos sensibles del país. La entomología agrícola se centra en el estudio de los insectos asociados a las plantas relacionadas con la agricultura, tanto los perjudiciales como los beneficiosos, dando cada vez más importancia al medio ambiente y apoyándose en los avances biotecnológicos disponibles para conservar y aumentar la biodiversidad en las zonas agrícolas. Por otra parte, hay una serie de nuevas tecnologías que pueden utilizarse en la entomología agrícola, como la visión artificial. La visión por ordenador o visión artificial es el área de investigación en torno a cómo los ordenadores ven y entienden las imágenes digitales y/o videos. Este estudio pretende dar un enfoque de la situación actual y potenciales usos de la visión por ordenador en la entomología agrícola y examinar de manera puntual cómo puede aplicarse en Panamá. Se evalúa los retos y las técnicas de visión por ordenador e inteligencia artificial aplicadas a la entomología mediante la selección de bibliografía actual publicada sobre la temática. Asimismo, este trabajo pretende identificar las lagunas y las oportunidades con vistas a convertirse en una referencia actualizada para futuros trabajos. Se analizaron varias referencias bibliográficas, de los cuales se extrajo la información contenida y se expone la aplicabilidad de las distintas técnicas en Panamá.

Palabras clave. Daños en los cultivos, deep learning, entomología agrícola, insectos plaga, inteligencia artificial, machine learning, visión artificial, visión por ordenador.

ABSTRACT. Variables such as climate change, droughts, hurricanes, deforestation, and the indiscriminate use of pesticides constantly trigger the presence of insect pests in the country, as well as potential invasive pests that find the necessary conditions to establish themselves and cause damage to sensitive crops in the country. Agricultural entomology focuses on the study of insects associated with agriculture-related plants, both harmful and beneficial, giving increasing importance to the environment and relying on available biotechnological advances to conserve and increase biodiversity in agricultural areas. On the other hand, there are several new technologies that can be used in agricultural entomology, such as computer vision. Computer vision or machine vision is the area of research around how computers view and understand digital images and/or videos. This study aims to give an approach to the current situation and potential uses of computer vision in agricultural entomology and to examine in a timely manner how it can be applied in Panama. The challenges and techniques of computer vision and artificial intelligence applied to entomology are evaluated through the selection of current bibliography published on the subject. This work also aims to identify gaps and opportunities with a view to becoming an updated reference for future work. Several bibliographic references were analysed, from which the information contained therein was extracted and the applicability of the different techniques in Panama is presented.

Keywords. Agricultural entomology, artificial intelligence, computer vision, crop damage, deep learning, insect pests, machine learning.

1. Introducción

1.1. La producción agrícola y plagas insectiles en Panamá

La producción agrícola panameña está compuesta por 35 rubros básicos agrupados en granos básicos, hortalizas, cucurbitáceas, frutales, raíces y tubérculos distribuidos en más de 227, 551 hectáreas sembradas con una producción estimada total de 3,556,828 toneladas de productos agrícolas, que durante su proceso de cultivo ven reducida parte de su producción por diferentes factores abióticos y bióticos, incluyendo los daños por plagas insectiles [1].

En Panamá existe un complejo de plagas insectiles agrícolas establecidas y emergentes que constituyen una amenaza para la producción sostenible de rubros agrícolas de importancia para la seguridad alimentaria del país [2].

Son factores variables tales como el cambio climático, sequías, huracanes, deforestación y la utilización indiscriminada de insecticidas detonantes constantes para que las plagas insectiles presentes en el país, así como potenciales plagas invasores encuentren las condiciones necesarias para su establecimiento y puedan causar daños sobre los cultivos sensitivos al país [3 - 4].

2. Antecedentes de la aplicación de la visión artificial

2.1. Inteligencia Artificial, Machine Learning, Deep Learning y Visión Artificial

En los últimos años la inteligencia artificial y sus distintas ramas han salido de los círculos académicos para posicionarse como una tecnología con la capacidad de transformar la industria. Pero ¿en qué consiste este campo de las ciencias de la computación? Según McCarthy [5] es la ciencia y la ingeniería que consiste en crear máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes. Está relacionada con la tarea similar de utilizar ordenadores para comprender la inteligencia humana, pero la IA no tiene por qué limitarse a métodos biológicamente observables.

La IA es el término que engloba la resolución automática de tareas intelectuales que normalmente realizan los humanos. El Machine Learning (ML) es un subcampo de la inteligencia artificial que utiliza el conocimiento del mundo real para tomar decisiones similares a las humanas sin reglas definidas. El Deep Learning (DL) añade la capacidad de aprender automáticamente representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción, lo que permite explotar datos no

estructurados. Aprovechando todos estos conceptos, la visión artificial es un caso de uso específico para explotar datos visuales.

2.2 Aplicaciones actuales de la visión artificial

El proceso de la visión artificial incluye la captura, preprocesamiento, segmentación, descripción, reconocimiento o clasificación e interpretación de imágenes aplicando el procesamiento de imágenes, análisis de imágenes y visión por computador [6].

Considerando dichos elementos la visión artificial es una disciplina compleja que requiere el apoyo de diversas herramientas y lenguajes de programación, así como de disciplinas tecnológicas que se constituyen en técnicas y métodos pueden ser utilizados en diversos campos que incluyen la agricultura, astronomía, biología, inspección y control de calidad, geología, medicina, meteorología, microscopía, robótica, seguridad, teledetección, modelado y visualización en 3D, reconocimiento y clasificación [6].

2.3. Aplicaciones de la visión artificial en la entomología agrícola en la actualidad

La visión artificial ya viene ubicándose como una herramienta indispensable a desarrollar en la agricultura en general para contribuir a resolver problemas, prueba de ello es el desarrollo durante más de 3 décadas de diversas técnicas que ha permitido una generación de nuevos procesadores, nuevos sensores y nuevas capacidades de almacenamiento que han sostenido el desarrollo de nuevas técnicas en particular de visión, asociados a aplicaciones de agricultura de precisión basados en el uso de imágenes y técnicas de visión, aplicadas por ejemplo a la clasificación de granos de diferentes rubros [7].

Dentro de la agricultura de precisión la visión artificial permite obtener la mayor cantidad de información sobre los campos de cultivo para optimizar los procesos de siembra, control de malas hierbas y cosecha, utilizando para ello imágenes del cultivo [8].

En este sentido se han aplicado sistemas de visión artificial para la detección de infestación por plagas como el bicho de cesto (*Oiketicus kirbyi* Lands-Guilding [Lepidoptera: Psychidae]) y araña roja (*Oligonychus yothersi* [McGregor] [Acari: Tetranychidae]), esta última especie es un ácaro, en cultivos como el palto o aguacate (*Persea americana* Mill.) (Lauraceae) a través de la observación, consulta e implementación de visión por computador con imágenes captadas por un dron Mavic2 Zoom, para ser analizadas con plataformas como Anaconda-Spyder (Python 3.6) que contiene algoritmos para la detección de objetos y segmentación por color, análisis matricial y la utilización de Machine Learning para su clasificación [9].

El reconocimiento de plagas utilizando la visión artificial también ha sido utilizado en Colombia como herramienta de

diagnóstico con el uso de drones equipados con cámara permite capturar imágenes del estado de las hojas del cultivo de flor de azúcar (*Begonia semperflorens* Link & Otto) (Begoniaceae) para determinar el posible ataque de plagas utilizando técnicas de filtros morfológicos, difuminado gaussiano y filtrado HSL para detectar las perforaciones de hojas ocasionadas por plagas como arañas rojas (ácaros) y minadoras de las hojas, considerando que el daño puede ser detectado visualmente [10].

En la Figura 1. Observara gráficamente la distribución de cada uno de estos elementos de la visión artificial asociada a insectos plaga.

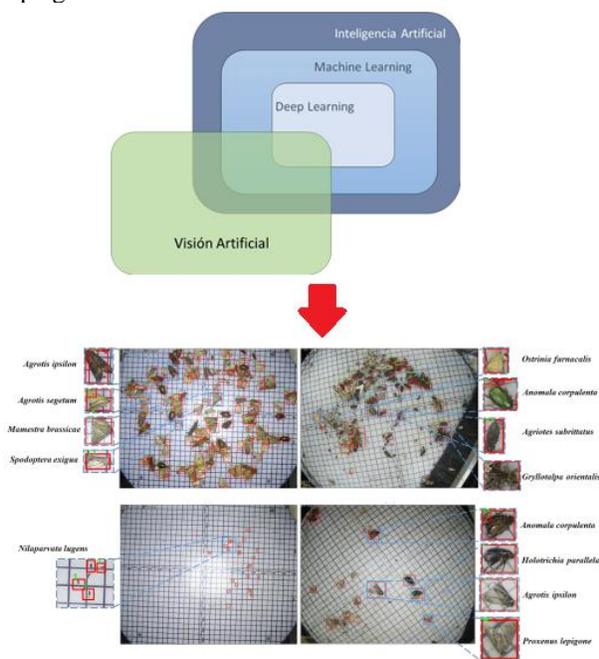


Figura 1. Ilustración que distingue los términos relacionados con la IA y ejemplos de imágenes de insectos plagas aplicando la tecnología (imagen tomada de Dong et al., 2022 [11]).

En Panamá los trabajos asociados a visión artificial a la entomología agrícola son limitados, por lo que el presente estudio pretende analizar la situación actual y potenciales usos de la visión por ordenador en la entomología agrícola y examinar de manera puntual cómo puede aplicarse en Panamá. El presente trabajo constituye una herramienta inicial y guía para para futuros trabajos asociados a dicha temática en Panamá.

3. Materiales y métodos

Para realizar el análisis de la situación actual de la temática en estudio se utilizó como herramienta una revisión sistemática de literatura.

Dentro de los parámetros utilizados para seleccionar los artículos estuvo relevancia y año de publicación, empleando

los filtros proporcionados por Google Scholar, utilizando para ellos los criterios de selección y elegibilidad en idioma español e inglés.

Google Scholar permitió utilizar las bases de datos IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), Web of Science, Scopus y otras.

El intervalo de tiempo utilizado en la investigación se definió de 1997 a 2022, pero enfocándose principalmente en los últimos 10 años.

Para el estudio de los artículos, se definió la siguiente expresión de búsqueda: ("computer vision" OR "machine vision" OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "visión por ordenador" OR "visión artificial") AND ("crop damage" OR "insect pests" OR "agricultural entomology").

Los resultados obtenidos de la búsqueda "deep learning" and "crop damage" con 244,400 resultados obtuvo los mayores durante la búsqueda, considerando que los conceptos son más abarcadores incluyendo enfermedades, plagas y otros elementos de daños en los cultivos; los resultados obtenidos por "visión artificial" and "agricultural entomology" fueron los más bajos con 15,800 resultados de la búsqueda.

Considerando la existencia de información asociada a la temática a partir de estos resultados se tomó la población total más baja de los resultados para calcular la muestra para el estudio. Para ello se utilizó el simulador de tamaño de muestra desarrollado por la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez en 2022 [12], utilizando como parámetros un margen de error permitido de 5%, una probabilidad de éxito/fracaso de 98% y una población total de 15 800 resultados con un nivel de confianza de 95% dando como resultado 30 muestras de referencias.

Los resultados obtenidos ser ordenaron por plaga, cultivo, país y tecnología aplicada dentro de una tabla.

4. Resultados y discusión

Diversas plagas insectiles ponen peligro la producción de alimentos en Panamá, tales como diversas especies de moscas de las frutas de la familia Tephritidae (Diptera) (diversas especies del género *Anastrepha* presentes en Panamá, incluyendo *Anastrepha obliqua* [Macquart] y *Anastrepha ludens* [Loew], así como la vigilancia constante de *Ceratitidis capitata* Widemann) que pueden causar serios daños sobre la producción de frutales [13]; insectos vectores de microorganismos que causan enfermedades en las plantas, como el caso del psílido asiático (*Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae)) (Figura 2) vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* que causa la enfermedad de Huanglongbing en los cítricos en Panamá [14]; así como la constante vigilancia de especies de langostas del género *Schistocerca* (Orthoptera: Acrididae) presentes en Panamá y

exóticas que un momento determinado por diversos factores ambientales podrían transformarse en plagas de importancia nacional por ser consideradas fitófagas de diversos cultivos tales como arroz, frijol, maíz y caña de azúcar [15 – 3].



Figura 2. Especímen adulto de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) posada sobre tejido vegetal de un árbol cítrico.

Estos fundamentos antes expuestos transforman la entomología en una de las ciencias de mayor relevancia para resolver los problemas asociados al manejo de plagas insectiles, considerando que la entomología es la ciencia que estudia los insectos a través de métodos adecuados de investigación, integrada por una fase taxonómica o descriptiva que se apoya igualmente en la genética, histología, anatomía y ecología [16].

La entomología agrícola se enfoca en el estudio de los insectos que están asociados a las plantas de interés agrícola, tanto nocivos como benéficos, dando un enfoque cada día más preocupado por el medio ambiente por la necesidad de conservar y aumentar la biodiversidad en las zonas agrícolas apoyándose en avances biotecnológicos disponibles [17] que puedan ser integrados dentro de las prácticas de planes de manejo integrado de plagas buscando una perspectiva de la agricultura ecológica cada vez más demanda por los actores de la sociedad [18].

Por tanto, estudiar la incidencia de plagas invasoras en la agricultura ha obligado a reinventar la investigación en escenarios nuevos y de mayor complejidad por haber tres tipos de organismos implicados: plantas-plagas-fauna útil, dando en este último punto importancia a la diferenciación entre insectos nocivos y benéficos como los parasitoides, depredadores y polinizadores, obligando de esta manera a dar un enfoque de

manejo que pueda conservar en los agroecosistemas todas aquellas especies silvestres benéficas [16].

Dentro de toda aquella gama de nuevas tecnologías disponibles que pudiesen ser utilizadas dentro de la entomología agrícola se encuentra la visión artificial.

La visión por ordenador o visión artificial es el campo de estudio que rodea el modo en que los ordenadores ven y comprenden las imágenes y los vídeos digitales. La visión por ordenador abarca todas las tareas realizadas por los sistemas de visión biológicos, como "ver" o percibir un estímulo visual, comprender lo que se ve y extraer información compleja de forma que pueda utilizarse en otros procesos. Este campo interdisciplinar simula y automatiza estos elementos de los sistemas de visión humanos utilizando sensores, ordenadores y algoritmos de aprendizaje automático. La visión por ordenador es la teoría en la que se basa la capacidad de los sistemas de inteligencia artificial (IA) para ver y comprender el entorno que les rodea [19].

En la actualidad son muchas las aplicaciones en el mundo real que utilizan la visión por ordenador como lo son el uso en sistemas de seguridad, reconocimiento OCR que puede ser utilizado en el reconocimiento de matrículas o puede escanear cualquier texto de la imagen, en la robótica y por supuesto en la agricultura con soluciones presentadas por [20 – 21].

Con los usos y cualidades presentados anteriormente, la visión artificial se posiciona como en una excelente oportunidad para desarrollar herramientas a favor de la entomología agrícola a nivel global y especialmente en Panamá.

La tabla 1 resume la información asociada a 30 referencias bibliográficas provenientes de estudios desarrollados en países como Brasil, China, Croacia, Estados Unidos de América, India, Israel entre otros, donde técnicas como Support Vector Machines (SVM), Deep Learning, Machine Learning, trampas inteligentes, red neuronal artificial y visión por ordenador entre otras dentro de la inteligencia artificial, están siendo utilizadas en este momento par determinar nivel de daños, identificación y conteo de poblaciones de insectos plaga como áfidos, trips, psílido asiático, gusanos cogolleros, gusanos soldados, moscas de la fruta, mosca blanca e insectos plagas varios que son plagas que de manera general causan problemas también en Panamá con especies similares o al menos de las familias representativas.

Tabla 1. Listado de ordenes de insectos de importancia agrícola con estudios asociados a la visión artificial.

Insecto Plaga	Cultivo	País	Tipo de tecnología	*Grupos para potencial aplicación en Panamá	Referencia
1. Áfidos (Hemiptera: Aphididae)	Trigo (<i>Triticum</i> spp.)	China	Método de identificación y monitoreo de población basado en imágenes digitales utilizando histogramas de características de gradiente orientadas a Support Vector Machines	Áfidos plagas presentes	Liu et al., 2016 [22]
2. Áfidos (Hemiptera: Aphididae), mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) y Trips (Thysanoptera)	Fresa (<i>Fragaria ananassa</i> [Weston] Duchesne)	China	Rápido conteo y reconocimiento de insectos voladores utilizando el método de detección y conteo grueso basado en la detección de objetos You Only Look Once (YOLO), Support Vector Machines (SVM)	Áfidos, mosca blanca y trips presentes en Panamá en diversos cultivos	Zhong et al., 2018 [23]
3. Áfidos (Hemiptera: Aphididae) y moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae).	Cultivos varios	Canadá	Uso de imágenes masivas para estimar abundancia, biomasa y diversidad usando Deep Learning para visión por ordenador	Géneros de estos dos grupos presentes en Panamá	Schneider et al., 2021 [24]
4. Áfidos (Incluyendo <i>Rhopalosiphum padi</i> [L.] [Hemiptera: Aphididae])	Cultivos varios	Brasil	Clasificación de áfidos a través del procesamiento de imagen, extrayendo regiones de interés de las imágenes, con visión por ordenador	Diversas especies de áfidos presentes en Panamá	Lins et al., 2020 [25]
5. Barrenador del arroz (<i>Chilo suppressalis</i> [Walker] [Lepidoptera: Crambidae])	Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	China	Sistema de detección de imágenes fijas, utilizando RCNN (Region-based convolutional neural network), para la detección de daños de síntomas de plagas y enfermedades.	Géneros de Crambidae presentes en Panamá	Li et al., 2020 [26]
6. Broca del café (<i>Hypothenemus</i>	Café (<i>Coffea</i>	Brasil	Uso de trampas inteligentes con el internet de las	Plaga presente en Panamá	Figueiredo et al.,

<i>hampei</i> Ferrari [Coleoptera: Curculionidae])	<i>a</i> spp.)		cosas que utiliza la visión por ordenador para identificar insectos de interés propuestos.		2020 [27]
7. Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera y Lepidoptera	Cultivos varios	Egipto	Reconocimiento de insectos plagas basado en "Deep Transfer Learning Models"	Géneros dentro de estos ordenes son plagas en Panamá	Khalifa et al., 2020 [28]
8. Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera y Orthoptera	Cultivos varios	China	Modelo de detección de imágenes de insectos, incluyendo plagas, basado en YOLOv5	Géneros dentro de estos ordenes son plagas en Panamá	Ahmad et al., 2022 [29]
9. Coleoptera, Diptera, Hemiptera y Lepidoptera	Cultivos varios	China	Reconocimiento de imágenes de insectos plagas a través de un conjunto de datos de referencia a gran escala.	Géneros dentro de estos ordenes son plagas en Panamá	Wu et al., 2019 [30]
10. Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera y Orthoptera	Arroz	India	Clasificación de imágenes de insectos plagas usando funciones basadas en gradientes	Géneros dentro de estos ordenes son plagas en Panamá	Venugoban y Ramana, 2014 [31]
11. Gusano cogollero (<i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) [Lepidoptera: Noctuidae])	Algodón (<i>Gossypium</i> spp.)	China	Aplicación de la visión por ordenador para discriminar las imágenes de machos y hembras adultos de la especie <i>H. armigera</i> .	Género de insecto plaga presente en Panamá	Zhang et al., 2019 [32]
12. Gusano cogollero (<i>Spodoptera</i> spp. [Lepidoptera: Noctuidae])	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	India	Identificación temprana de plagas nocturnas con el uso de visión por ordenador	Género presente en Panamá	Patel y Bhatt, 2018 [33]
13. Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i> [Hübner] [Lepidoptera; Noctuidae])	Cultivos varios	Irán	Detección de insectos plagas basada en un algoritmo de procesamiento de imágenes y redes neuronales artificiales	Especies del género presentes en Panamá	Asefpour Vakilian y. Massah, 2013 [34]
14. Insectos plaga varios	Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	Colombia	Identificación y monitoreo de insectos plaga con aplicaciones de inteligencia artificial	Diversos géneros de insectos plagas en plantas de algodón silvestre	Toscano - Miranda et al., 2022 [35]
15. Insectos plaga varios	Arroz	India	Uso de internet de las cosas para la identificación de insectos plagas	Diversos géneros de plagas presentes en Panamá	Bhoi et al., 2021 [36]
16. Insectos plaga varios	Diversos cultivos	Brasil	Identificación y conteo de especímenes capturados en trampas con	Diversos insectos plaga en Panamá	Júnior y Rieder, 2020 [37]

			técnicas de visión por ordenador y técnicas de inteligencia artificial		
17. Insectos plaga varios	Cultivos varios	India	Identificación de insectos plaga utilizando técnicas de Machine Learning.	Diversos insectos plaga presentes en diversos cultivos en Panamá	Kasinathan et al., 2021 [38]
18. Insectos plaga varios	Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> sp.)	Israel	Determinar brotes de insectos plagas con el estudio espacio temporal de la plaga con la utilización de Deep Learning	Insectos plaga varios asociados a plantas de Eucalipto en Panamá	Gerovichev et al., 2021 [39]
19. Insectos plaga varios	Cultivos dentro de invernadero	México	Uso de técnicas de visión artificial para la identificación de plagas	Diversos insectos plaga presentes en Panamá	Solis-Sánchez et al., 2011[40]
20. Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood [Hemiptera: Aleyrodidae])	Maíz y tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	China	Uso de segmentación de imágenes de las hojas de un cultivo determinado (Segmentación cognoscitiva)	Géneros de Aleyrodida e presentes en Panamá	Wang et al., 2018 [41]
21. Moscas del fruto de olivo (<i>Bactrocera oleae</i> [Rossi] [Diptera: Tephritidae])	Olivo (<i>Olea europaea</i> L.)	Dinamarca	Identificación taxonómica utilizando Deep Learning	Diversos géneros de Tephritida e presentes	Høye et al., 2021 [42]
22. Mosca del melón (<i>Zeugodacus cucurbitae</i> Coquillett [Diptera: Tephritidae])	Melón (<i>Cucumis melo</i> L.)	Estados Unidos de América	Captura, procesamiento y canalización de datos de comportamiento por cámaras para análisis de visión por ordenador	Diversos géneros de Tephritida e presentes	Manoukis y Collier, 2019 [43]
23. Mosca del melón (<i>Zeugodacus cucurbitae</i> Coquillett [Diptera: Tephritidae])	Cultivos varios	China	Identificación de pupas de hembras y machos de la especie <i>Z. cucurbitae</i> utilizando técnicas de visión por ordenador	Diversos géneros de Tephritida e presentes en Panamá	Lian et al., 2022 [44]
24. Moscas de la fruta (<i>Anastrepha fraterculus</i> [Wiedemann], <i>Anastrepha obliqua</i> [Macquart] y <i>Anastrepha sorocurla</i> Zucchi)	Frutas (Diversas)	Brasil	Desarrollo de un sistema de identificación automática de especies a través del análisis de imágenes	Diversos géneros de Tephritida e presentes	Faria et al., 2014 [45]

[Diptera : Tephritidae])					
25. Mosca mediterránea de la fruta (<i>Ceratitis capitata</i> [Wiedemann], <i>Bactrocera dorsalis</i> [Hendel] y <i>Bactrocera oleae</i> [Gmelin] [Diptera: Tephritidae])	Frutas (Diversas)	Estados Unidos de América	Identificación y seguimiento de insectos plagas a través de sensores infrarrojos y trampas de audio.	Diversos géneros de Tephritida e presentes	Cardim et al., 2020 [46]
26. Mosca mediterránea de la fruta (<i>Ceratitis capitata</i> [Wiedemann] [Diptera: Tephritidae])	Frutas diversas	España	Utilización de sensores de visión y patrones de reconocimiento de algoritmos para detección de individuos recombinantes dentro de colonias renovadas de <i>C. capitata</i> dentro de programas de la técnica de la mosca estéril	Diversos géneros de Tephritida e presentes	Blasco et al., 2009 [47]
27. Polilla del manzano (<i>Cydia pomonella</i> L. [Lepidoptera: Tortricidae]) – Especies diversas de mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae)	Manzana (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Croacia	Uso de sistemas de análisis de imágenes, sensores y sistemas de soporte para decisiones para monitoreo de plagas	Plagas de la familia Tortricidae y Tephritida e en cultivos varios en Panamá	Cirjak et al., 2022 [48]
28. Pulgón de la soja (<i>Aphis glycines</i> Matsumura [Hemiptera: Aphididae])	Soja (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.)	Estados Unidos de América	Se utilizó la técnica de procesamiento de imágenes para detectar y contar pulgones de soja de diferentes tamaños en una hoja de soja.	Sin reportes en Panamá, pero otras especies de áfidos si presentes	Maharloe et al., 2017 [49]
29. Psílido asiático (<i>Diuraphis citri</i> Kuwayama [Hemiptera: Liviidae])	Cítricos	Estados Unidos de América	Sistema automatizado basado en visión por ordenador para monitorear el psílido asiático de los cítricos	Especie de plaga presente en Panamá	Partel et al., 2019 [50]
30. Trips (Thysanoptera)	Cultivos varios	República Checa	Identificación y monitoreo de trips utilizando sistema de red neuronal artificial	Géneros de Thysanoptera son importantes en Panamá	Fedor et al., 2009 [51]

*Referencias ya descritas dentro del documento.

Partiendo de los elementos presentados, se justifica en Panamá el desarrollo de estudios y proyectos para el desarrollo de sistemas de visión artificial para la identificación morfológica, conteo y daños causados por insectos plagas en cultivos de interés para la seguridad alimentaria del país, considerando los potenciales escenarios venideros por el

cambio climático donde las plagas invasoras y emergentes juegan un papel preponderante [52].

Todos estos elementos encajan perfectamente en los programas de manejo integrado de plagas que forman parte de las aplicaciones de la entomología agrícola que hoy día busca una visión agroecológica en el manejo de los cultivos más cónsona con la preservación de la biodiversidad existente en los agroecosistemas dentro de una realidad medioambiental que requiere la concientización de la producción de los rubros de importancia alimenticia [16].

El desarrollo de estas herramientas puede contribuir a identificar, cuantificar el daño y monitorear plagas como las moscas de las frutas del género *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) en diversos frutos como el mango, guayaba y naranja [53]; el chinche *Oebalus insularis* Stål (Hemiptera: Pentatomidae) en el arroz por los efectos adversos que tiene en el rendimiento de arroz en el campo y a nivel industrial [54]; el chinche de patas de hoja *Leptoglossus zonatus* Dallas (Hemiptera: Coreidae) por los daños que ocasiona en los frutos de naranja [55]; la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) que causa serios daños en los frutos del café [56]; el *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) y sus ataques sobre el cultivo de sandía [57]; el barrenador del tallo *Diatraea tabernella* Dyar (Lepidoptera: Crambidae) que causa daños dentro de los tallos de la caña de azúcar [58]. Muchos de estos insectos plagas varían en tamaño desde mm hasta cm, así como se diferencian las formas y niveles de los daños que pueden ocasionar en los diferentes rubros.

Si ya en otras instancias se han dado experiencias exitosas como la de la instalación de un sistema experto con visión artificial para la identificación de insectos descortezadores en especies de pino en México [59] y la aplicación de la visión artificial como una herramienta automatizada para la clasificación de diversas especies de moscas de la familia Calliphoridae (Diptera) de importancia en la entomología forense a partir de imágenes [60], entonces pueden perfectamente encajar en los intereses de la entomología agrícola para contribuir a resolver los problemas existentes en el contexto panameño, y porque no regional.

Los trabajos de investigación a nivel de universidades y centros de investigación que se pueden originar a partir de esta perspectiva podrán dotar al país de herramientas requeridas por la entomología agrícola para un mejor desempeño como una ciencia multidisciplinaria dinámica y adaptada a la adopción de nuevas tecnologías necesarias para la sociedad.

5. Conclusiones

En los últimos años, problemas como la deforestación, el cambio climático y el uso inadecuado de plaguicidas han afectado la agricultura a nivel mundial y nacional. La entomología agrícola es una de las ciencias que puede colaborar con el mejoramiento de la agricultura y la visión por ordenador es la herramienta que puede colaborar en esa tarea.

Como hemos visto, se han adaptado o desarrollado diversas técnicas de inteligencia artificial para abordar este tipo de situaciones, pero para que sean realmente utilizadas, deben ser adoptadas con éxito por las instituciones encargadas.

Este documento ofrece un análisis de la situación actual de la visión artificial como herramienta tecnológica aplicada a la entomología agrícola. Estas soluciones se benefician de los nuevos desarrollos de la inteligencia artificial, que pueden ser aplicados dentro de los componentes de manejo integrado de plagas insectiles en cultivos específicos.

AGRADECIMIENTOS

Randy Atencio y Edmanuel Cruz son apoyados con fondos del Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la SENACYT.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

R.A. y E.C. colaboraron con la conceptualización del estudio.

R.A. y E.C. colaboraron con la compilación, análisis y redacción del artículo.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá, “Cierre año agrícola, año 2020-2021. Documento de actividades productivas”, Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Panamá. 56 p. [Online]. Available: <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/10/CIERREAGRICOLA2020-2021-modificado.pdf>
- [2] A.A. Barba. Insectos Plagas Emergentes en Cultivos Hortofrutícolas en Panamá. S-05-C. XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. APANAC (La Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia).

- Hotel Wyndham Panamá, Albrook Mall. pp. 115, 19 al 22 octubre, 2016. [Online]. Available at: www.apanac.org.pa/sites/default/files/libro_xvi_congreso_nacional_de_ciencia_y_tecnologia.pdf
- [3] H. Song, R. Mariño-Pérez, D. Woller and M.M. Cigliano, “Evolution, Diversification, and Biogeography of Grasshoppers (Orthoptera: Acrididae)”, *Mol. Phylogenetics Phylogeography*, vol. 2, no. 4, pp. 1–25, 2018.
- [4] R.E Díaz Bolaños, E.J. Alfaro Martínez and L. Leitón Gutiérrez, “La plaga de langostas *Schistocerca* sp. (Orthoptera: Acridae) y su relación con el Mega Niño de 1877-1878 en Costa Rica”, *Cuad. Investig. UNED Univ. Estatal Distancia Costa Rica*, vol. 11, no. 2., pp. 54-64, 2019.
- [5] J. McCarthy. What is Artificial Intelligence? Stanford University, Computer Science Department. EEUU, 2007. [Online]. Available at: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/>
- [6] I. García and V. Caranqui. “La visión artificial y los campos de aplicación. Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales – UPEC. La visión Artificial y los Campos de Aplicación”, *Tierra Infinita*, no. 1, pp. 93-103, 2015.
- [7] C. Russo, H. Ramón, S. Serafino, B. Cicerchia, M. Sarobe, A. Balmer, A. Eduardo, P. Luengo, G. Useglio and M. Faroppa. “Visión artificial aplicada en Agricultura de Precisión. XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación”, *RedUNCI – UNNE*, pp. 992-996, 26 y 27 de Abril, 2018.
- [8] J. Sotomayor, A. Gómez and A. Cela, “Sistema de Visión Artificial para el Análisis de Imágenes de Cultivo basado en Texturas Orientadas”, *Revista Politécnica*, vol. 33, no. 1, 2014. [Online]. Available at: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/104
- [9] R. León, M. Díaz and L. Rodríguez. “Gestión de un sistema de visión artificial para la detección de los daños causados por plagas en el cultivo de palto utilizando un drone”, *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 16, no. 4, pp- 135-141, 2020.
- [10] C. A. Cáceres Flórez, D. Amaya Hurtado and O. L. Ramos Sandoval, “Procesamiento de imágenes para reconocimiento de daños causados por plagas en el cultivo de *Begonia semperflorens* (flor de azúcar)”, *Acta Agronómica*, vol. 64, no. 3, pp. 273-279, 2015. [Online]. Available at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169940048012>
- [11] S. Dong, J. Du, L. Jiao, F. Wang, K. Liu, Y. Teng and R. Wang, “Automatic Crop Pest Detection Oriented Multiscale Feature Fusion Approach”, *Insects*, vol. 13, pp. 554, 2022. Available at: <https://doi.org/10.3390/insects13060554>
- [12] Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, “Simulador de Tamaño de Muestra”, 2022. Available at: <https://economia.uancv.edu.pe/simuladores/investigacion/muestra/>
- [13] V. Hernández-Ortiz, “Moscas de la fruta (Insecta: Diptera: Tephritidae)”. En “Diversidad de Especies: Conocimiento Actual. La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado”, A. Cruz Angón, (Editor), vol. 2, pp. 411-419, 2011.
- [14] Convección Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC). Presencia de HLB de los cítricos / Presence of Citrus HLB. Panamá. Pest Reports. IPPC / FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2018. [Online]. Available at: <https://www.ippc.int/es/countries/panama/pestreports/2018/11/presencia-de-hlb-de-los-citricos-presence-of-citrus-hlb-19/>
- [15] C.H.F. Rowell, “*The Grasshoppers (Caelifera) of Costa Rica and Panama*”, The Orthopterists’ Society, vol. 617, 2013.
- [16] C. Bach y A. Compte, “La Entomología moderna en España su desarrollo: de los orígenes a 1960”, *Bol. S.E.A.*, vol. 20, pp. 367-392, 1997
- [17] G. Bueso. «Elisa Viñuela, catedrática de Entomología Agrícola de la UPM. “Es importante que estemos concienciados del gran papel que juega la fauna útil en la agricultura”», *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, no. 302, pp. 16-19, 2018.
- [18] F. García Marí, “La entomología agrícola: situación actual y perspectiva de futuro”, *Phytohemeroteca*, no. 196, 2008. [Online]. Available at: <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/196-febrero-2008/la-entomologia-agricola-situacion-actual-y-perspectivas-de-futuro>
- [19] DeepAI. *Computer vision*. DeepAI. May 17, 2019. [Online]. Available at: <https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/computer-vision>
- [20] Croptracker. *Croptracker*, 2019. [Online]. Available at: <https://www.croptracker.com/product/harvest-quality-vision.html>
- [21] R. Mahendran, G. C. Jayashree and K. Alagusundaram, “Application of computer vision technique on sorting and grading of fruits and vegetables”, *J. Food Process. Technol.*, vol. 10, pp. 2157-7110, 2012.

- [22] T. Liu, W. Chen, W. Wu, C. Sun, W. Guo and X. Zhu, "Detection of aphids in wheat fields using a computer vision technique", *Biosystems Engineering*, vol. 141, pp. 82-93, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.005>.
- [23] Y. Zhong, J. Gao, Q. Lei and Y. Zhou, "A Vision-Based Counting and Recognition System for Flying Insects in Intelligent Agriculture", *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 18, no. 5, pp. 1489, 2018. Available at: <https://doi.org/10.3390/s18051489>
- [24] S. Schneider, G. W. Taylor, S. C. Kremer, P. Burgess, J. McGroarty, K. Mitsui, A. Zhuang, J. R. de Waard, & J. M. Fryxell, "Bulk arthropod abundance, biomass and diversity estimation using deep learning for computer vision", *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 13, pp. 346– 357, 2022. Available at: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13769>
- [25] E. A. Lins, J. P. Mazuco R., S. I. Scoloski, J. Pivato, M. Balotin Lima, J. M. Cunha Fernandes, P. R. Valle da Silva Pereira, D. Lau and R. Rieder, "A method for counting and classifying aphids using computer vision", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 169, No. 105200, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105200>.
- [26] D. Li, R. Wang, C. Xie, L. Liu, J. Zhang,; R., Li, F. Wang, M. Zhou and W. Liu, "A Recognition Method for Rice Plant Diseases and Pests Video Detection Based on Deep Convolutional Neural Network", *Sensors*, vol. 20, no. 578, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3390/s20030578>
- [27] V.A. Figueiredo, S.B.Mafra and J.J. Rodrigues, "A Proposed IoT Smart Trap using Computer Vision for Sustainable Pest Control in Coffee Culture", *ArXiv*, abs/2004.04504, 2020. Available at: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2004/2004.04504.pdf>
- [28] N. E. M. Khalifa, M.Loey and M. H. N. Taha, "Insect Pests Recognition Based On Deep Transfer Learning Models", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 98, no. 1, pp. 60-68, 2020. Available at: <http://www.jatit.org/volumes/Vol98No1/6Vol98No1.pdf>
- [29] I. Ahmad, Y. Yang, Y. Yue, C. Ye, M. Hassan, X. Cheng, Y. Wu and Y. Zhang, "Deep Learning Based Detector YOLOv5 for Identifying Insect Pests", *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 10167. 2022. Available at: <https://doi.org/10.3390/app121910167>
- [30] Xiaoping Wu, Chi Zhan, Yu-Kun Lai, Ming-Ming Cheng, Jufeng Yang; Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019, pp. 8787-8796. Available at: https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2019/html/Wu_IP102_A_Large-Scale_Benchmark_Dataset_for_Insect_Pest_Recognition_CVPR_2019_paper.html
- [31] Venugoban, K., Ramanan, A. 2014. Image Classification of Paddy Field Insect Pests Using Gradient-Based Features. *International Journal of Machine Learning and Computing*, Vol. 4, no. 1. Available at: <http://www.ijmlc.org/papers/376-H0001.pdf>
- [32] H. T. Zhang, J. N. Liu, L. Tan and S. T. Xu, "Study on automatic discrimination of male and female imagoes of *Helicoverpa armigera* (Hübner) based on computer vision", *Journal of Environmental Entomology*, vol. 41, no.4, pp. 908-913, 2019. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193520903> Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193520903>
- [33] D. J. Patel, and N. Bhatt, "Analytical Review of Major Nocturnal Pests", *Detection Technique Using Computer Vision*, vol. 11, no. 3, pp. 179-182, 2018. Available at: <http://www.computerscijournal.org/vol11no3/analytical-review-of-major-nocturnal-pests-detection-technique-using-computer-vision/>
- [34] K. Vakilian, A. and J. Massah, "Performance evaluation of a machine vision system for insect pests identification of field crops using artificial neural networks", *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, vol. 46, no. 11, pp. 1262-1269, 2013 Available at: <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.763620>
- [35] R. Toscano-Miranda, M. Toro, J. Aguilar, M. Caro, A. Marulanda, and A. Trebilcok, "Artificial-intelligence and sensing techniques for the management of insect pests and diseases in cotton: A systematic literature review", *The Journal of Agricultural Science*, vol. 160, no. 1-2, pp. 16-31, 2022. Available at: doi:10.1017/S002185962200017X
- [36] S. K. Bhoi, K. K. Jena, S. K. Panda, H. V. Long, R. Kumar, P. Subbulakshmi and H. B. Jebreen, "An Internet of Things assisted Unmanned Aerial Vehicle based artificial intelligence model for rice pest detection", *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 80, no. 103607, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103607>.
- [37] T. D. Júnior and R. Rieder, "Automatic identification of insects from digital images: A survey", *Comput. Electron. Agric.*, vol. 178, no. 105784, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105784>.
- [38] T. Kasinathan, D. Singaraju and S. R. Uyyala, "Insect classification and detection in field crops using modern machine learning techniques", *Information Processing in Agriculture*, vol. 8, no. 3, pp. 446-457,

2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.09.006>.
- [39] A. Gerovichev, A. Sadeh, V. Winter, A. Bar-Massada, T. Keasar and C. Keasar, “High Throughput Data Acquisition and Deep Learning for Insect Ecoinformatics”, *Front Ecol. Evol.*, vol. 9, no. 600931, 2021. Available at: doi: 10.3389/fevo.2021.600931
- [40] L. O. Solis-Sánchez, R. Castañeda-Miranda, J. J. García-Escalante, I. Torres-Pacheco, R. G. Guevara-González, C. L. Castañeda-Miranda and P. D. Alaniz-Lumbreras, “Scale invariant feature approach for insect monitoring”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 75, no. 1, pp. 92-99, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.10.001>.
- [41] Z. Wang, K. Wang, Z. Liu, X. Wang and S. Pan, “A Cognitive Vision Method for Insect Pest Image Segmentation”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 17, pp. 85-89, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.066>.
- [42] T. T. Høyve, , J. Árje, , K. Bjerger, O. L. P. Hansen, A. Iosifidis, F. Leese, H. M. R. Mann, K. Meissner, C. Melvad and J. Raitoharju, “Deep learning and computer vision will transform entomology”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 118, no. 2, e2002545117, 2021. <https://doi.org/10.1101/2020.07.03.187252>
- [43] N. C. Manoukis and T. C. Collier, “Computer Vision to Enhance Behavioral Research on Insects”, *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 112, no. 3, pp. 227–235, May 2019. Available at: <https://doi.org/10.1093/aesa/say062>
- [44] Y. Lian, A. Wang, B. Zeng, H. Yang, J. Li, S. Peng and S. Zhou, “Identification of male and female pupal characteristics of *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) via machine vision”, *PLoS ONE*, vol. 17, no. 3, e0264227, 2022. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264227>
- [45] F. A. Faria, P. Perre, R. A. Zucchi, L.R. Jorge, T.M. Lewinsohn, A. Rocha and R.D.S. Torres, “Automatic identification of fruit flies (Diptera: Tephritidae)”, *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 25, pp. 1516–1527, 2014
- [46] F. L. M. Cardim, L. M. E. Damascena de Almeida, C. Valero, C. L. C. Pereira and B. C. O. Gonçalves, “Automatic Detection and Monitoring of Insect Pests—A Review. Agriculture”, vol. 10, no. 5, pp. 161. 2020. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture10050161>
- [47] J. Blasco, J. Gómez-Sanchís, A. Gutierrez, P. Chueca, R. Argilés and E. Moltó, “Automatic sex detection of individuals of *Ceratitis capitata* by means of computer vision in a biofactory”, *Pest Manag. Sci.*, vol. 65, no. 1, pp. 99-104, 2009. Available at: doi: 10.1002/ps.1652. PMID: 18823066.
- [48] D. Cirjak, I. Miklečić, D. Ćemić, T. Kos,; I. Pajač Živković, “Automatic Pest Monitoring Systems in Apple Production under Changing Climatic Conditions”, *Horticulturae*, vol. 8, no. 520, 2022. Available at: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060520>
- [49] M. Maharlooei, S. Sivarajan, S.G. Bajwa, J.P. Harmon and J. Nowatzki, “Detection of soybean aphids in a greenhouse using an image processing technique”, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 132, pp. 63–70, 2017 Available at: doi: 10.1016/j.compag.2016.11.019.
- [50] V. Partel, L. Nunes, P. Stansly and Y. Ampatzidis, “Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 162, pp. 328-336, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.022>.
- [51] P. Fedor, J. Vaňhara, J. Havel, I. Malenovský and I. Spellerberg, “Artificial intelligence in pest insect monitoring”. *Systematic Entomology*, vol. 34, pp. 398-400, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2008.00461.x>
- [52] P. Sosenski y C.A. Domínguez, “El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico”, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 89, no. 3, 2018. [Online]. Available at: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/425/42559285030/html/index.html>
- [53] L. Alvarado-Gálvez and E. Medianero, “Especies de parasitoides asociados a moscas de la fruta del género *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) en Panamá, República de Panamá”, *Scientia (Panamá)*, vol. 25, no. 2, pp. 47-62, 2015.
- [54] P. Rodríguez, D. Navas, E. Medianero and R. Chang, “Cuantificación del daño ocasionado por *O. insularis* (Heteroptera: Pentatomidae) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en Panamá”, *Revista Colombiana de Entomología*, vol. 32, no. 2, pp. 131-135, 2006.
- [55] R. Collantes González, P. Rodríguez, B. Romero y E. Rodríguez, “Estados inmaduros de *Leptoglossus zonatus* (Hemiptera, Coreidae): agente relacionado con la caída de naranjas (*Citrus sinensis*) en Azuero, Panamá”, *Aporte Santiaguino*, vol. 9, no. 1, pp. 93-100, 2016.
- [56] J.A. Lezcano, E. Saldaña, R. Ruíz and S. Caballero, “Patogenicidad y virulencia del aislado de la cepa nativa de *Isaria* spp. y dos hongos entomopatógenos comerciales”, *Ciencia Agropecuaria*, vol. 23, pp. 20-38, 2015.
- [57] A. Barba y M. Suris, “Presencia de *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) en arvenses asociadas al

cultivo de la sandía para la región de Azuero, Panamá”, *Revista de Protección Vegetal*, vol. 30, no. 3, pp. 171-175, 2015.

- [58] R. Atencio, F.-R. Goebel, A. Guerra and S. López, “Impacto de la Diversidad Agroecológica sobre el Barrenador del Tallo de la Caña de Azúcar”, *Ciencia Agropecuaria*, vol. 31, pp. 76-98, 2020.
- [59] D. García and J. Rodrigo. Sistema experto con visión artificial para la identificación de insectos descortezadores en especies de pino de los estados forestales más importantes de México. Tesis para optar por el Título de Maestro en Ciencias de la Computación. Centro Universitario UAEM Texcoco. Universidad Autónoma Del Estado de México. 111 p., 2019. [Online]. Available at: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98774/Jorge%20Rodrigo%20Davila%20Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [60] M.F. Hernández Luquin, R.A. Lizárraga Morales and E. Vázquez Santacruz. Aplicación de Visión por Computadora en Entomología Forense. XIII encuentro. Participación de la Mujer en la Ciencia. León, Guanajuato. 17-19 de agosto, 2016. [Online]. Available at: http://congresos.cio.mx/13_enc_mujer/cd/cd_congreso_mujer_XIII/archivos/resumenes/S1/S1-ING23.pdf