



TESIS

CON EL TEMA:

**“PROTOTIPO DE SISTEMA INTELIGENTE CON LEDS Y ENERGIA
SOLAR PARA MONITOREO Y CONTROL DE PLAGAS EN EL
CULTIVO DEL AGUACATE (*Persea americana Mill*)”**

QUE PRESENTA:

ENRIQUE CORTES GALINDO

ASESOR:

MC. FAUSTINO RAMIREZ RAMIREZ

REVISORES:

**MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA
ING. MIGUEL HERNANDEZ FLORES**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN AGRONOMÍA**

TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. SEPTIEMBRE, 2024.

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, **29/Agosto/2024**

No. DE OFICIO: D.SA/979/2024
ASUNTO: Autorización de impresión definitiva y digitalización.

C. ENRIQUE CORTES GALINDO
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN AGRONOMÍA
P R E S E N T E

Dado que el Comité dictaminó como **APROBADA** su TITULACIÓN INTEGRAL: OPCIÓN I (TESIS), con el tema **“PROTOTIPO DE SISTEMA INTELIGENTE CON LEDS Y ENERGIA SOLAR PARA MONITOREO Y CONTROL DE PLAGAS EN EL CULTIVO DEL AGUACATE (*Persea americana Mill*)”** y determinó que da cumplimiento con los requisitos establecidos, se le notifica que tiene la autorización para su impresión definitiva y digitalización.

Sin otro particular quedo de usted.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®
Educando para la Sociedad Actual y los Retos del Futuro*

C. MARÍA ISABEL BECERRA RODRÍGUEZ
DIRECTORA DEL PLANTEL



C.c.p.- Coordinación de Apoyo a la Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -

MIBR/PNP/VHPS/mjhc
vr



Km. 10 Carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyatlán, Cto. Vicente Fernández Gomez, C.P. 45640
Tlajomulco de Zúñiga, Jal. Tel. 55 29 02 11 30 | www.tlajomulco.tecnm.mx



Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, **27/Agosto/2024**

No. DE OFICIO: D.SA/DCA/318/2024
ASUNTO: Liberación de proyecto para la titulación integral.

MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	ENRIQUE CORTES GALINDO
NO. DE CONTROL:	20940049
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"PROTOTIPO DE SISTEMA INTELIGENTE CON LEDS Y ENERGIA SOLAR PARA MONITOREO Y CONTROL DE PLAGAS EN EL CULTIVO DEL AGUACATE (<i>Persea americana Mill</i>)"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Educando para la Sociedad Actual y los Retos de Futuro



MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO
DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

 MC. FAUSTINO RAMIREZ RAMIREZ Nombre y firma del asesor	 MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA Nombre y firma del revisor	 ING. MIGUEL HERNANDEZ FLORES Nombre y firma del revisor
---	--	--

C.c.p.- Expediente.
JAPN/mjhc*



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco; a los 29 días del mes de Agosto del 2024.

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

Por medio del presente documento me permito otorgar la cesión de derechos de autor. Yo, **ENRIQUE CORTES GALINDO** egresado del programa de Licenciatura: **Ingeniería en Agronomía** y con número de control **20940049**. Expreso mi deseo y conformidad de ceder los derechos de nuestra obra "**PROTOTIPO DE SISTEMA INTELIGENTE CON LEDS Y ENERGIA SOLAR PARA MONITOREO Y CONTROL DE PLAGAS EN EL CULTIVO DEL AGUACATE (*Persea americana Mill*)**" al Tecnológico Nacional de México, Campus Tlajomulco para que sea publicada en el Repositorio Institucional.

Manifestó que el trabajo es completamente original, no ha sido publicado ni mostrado, por ende, es inédito y soy la única autora del mismo.

Lo anterior con carácter permanente e irrevocable y a título gratuito. Teniendo efecto desde el momento en que se reciba la carta.

De antemano agradezco su comprensión y quedo atenta a la respuesta.

Atentamente

Enrique Cortes G.

ENRIQUE CORTES GALINDO

Nombre completo y firma

ecortess@gmail.com

email

AGRADECIMIENTOS.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
INDICE DE CUADROS.....	6
INDICE DE FIGURAS.....	7
INDICE DE TABLAS.....	9
INDICE DE GRAFICAS.....	10
INDICE DE ANEXOS.....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	14
I.INTRODUCCION.....	16
II. ANTECEDENTES.....	17
2.1. Generalidades del aguacate.....	17
2.1.1 Origen.....	17
2.2 Características botánicas.....	17
2.2.1. Descripción Botánica.....	17
2.2.2 Raíz.....	18
2.2.3 Semilla.....	18
2.2.4 Hojas.....	18
2.2.5 Flor.....	19
2.2.6 Tronco y ramas.....	19
2.2.7 Fruto.....	20
2.3 Requerimientos Edafológicos y Climáticos.....	20
2.3.1 Altitud.....	20
2.3.2 Temperatura.....	20
2.3.3 Precipitación.....	21
2.3.4 Suelo.....	22
2.4 Principales enfermedades del Aguacate.....	23
2.5 Principales plagas del Aguacate.....	24
2.6 Establecimiento de la plantación.....	24
2.6.1 Preparación del terreno.....	24
2.6.2 Época de Plantación.....	24
2.6.3 Trazo de la Plantación y Densidad de Plantas.....	25
2.6.4 Riego.....	25
2.7 Fases del aguacate.....	26

2.7.1 Floración.....	26
2.7.2 Fructificación.....	27
2.8 Fertilización del aguacate.....	27
2.8.1 Fertilización química.....	28
2.8.2 Función y síntomas de deficiencia de los elementos nutricionales en el cultivo del aguacate. (Cuadro 4).....	30
2.9 Tecnologías para el monitoreo y control de plagas.....	31
2.9.1 Trampas inteligentes.....	31
2.9.2 Avance tecnológico para el monitoreo de insectos.....	31
2.9.3 Visión por computadora (CV).....	34
2.9.4 Los LEDS como fuente de atracción de insectos.....	36
2.9.5. Uso de LEDs en el Control de Plagas.....	38
2.9.6 Ejemplos de Aplicaciones de LEDs en el Control de Plagas.....	39
2.9.7. Uso de LEDs en la agricultura.....	42
2.10 Estaciones meteorológicas.....	43
2.10.1 Estaciones meteorológicas en la Agronomía.....	43
2.11 Paneles solares.....	47
2.12 Proyectos previos relevantes.....	49
III. OBJETIVOS.....	54
3.1.- General.....	54
3.2.- Particulares.....	54
IV.- HIPOTESIS.....	55
V. MATERIALES Y METODOS.....	56
5.1 Localización del experimento.....	56
5.2 Materiales utilizados.....	56
5.3 Elaboración de prototipo.....	59
5.3.1 Elaboración de la estación de control.....	59
5.3.2 Estación meteorológica.....	61
5.3.3 Elaboración de las trampas.....	62
5.3.4 Cámaras.....	63
5.3.5 Implementación de Internet.....	64
5.3.6 Elaboración de las baterías.....	64
5.3.7 Impresión 3D.....	66
5.4 Selección del cultivo e implementación en campo.....	67

5.4.1 Instalación de las trampas en campo	68
5.4.2 Mediciones	69
5.6 Variable de estudio.....	80
5.7 Tratamientos evaluados.....	81
5.8 Diseño experimental.....	82
5.9 Análisis estadístico.....	83
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.	84
6.1Análisis de varianza para captura de insectos.....	84
VII. CONCLUSIONES.....	87
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	88

INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1 Fertilización anual sugerida en aguacate, para suplementar nutrimentos exportados y mantenimiento a la fertilidad del suelo	28
Cuadro 2 Fertilización anual inicial sugerida en aguacate hasta los 5 años.....	29
Cuadro 3 Valores de referencia nutricional por diferentes autores para aguacate.....	29
Cuadro 4 Elementos nutritivos en aguacate, función en la planta y síntomas de deficiencia. Sanchez (1999) y Maldonado (2002)	30
Cuadro 5 Tratamientos evaluados.....	81
Cuadro 6 Tratamientos evaluados.....	82

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Ubicación del área experimental.	56
Figura 2 Estación de control.....	60
Figura 3 Raspberry pi.....	60
Figura 4 Estación meteorológica.....	62
Figura 5 Trampa 2.	63
Figura 6 Cámara esp32cam.....	64
Figura 7 Batería 18650.....	65
Figura 8 Batería terminada.....	66
Figura 9 Impresión 3D de caja cámara.....	67
Figura 10 Impresión caja cámara.	67
Figura 11 Huerta, fuente Google Maps.....	68
Figura 12 Instalación de trampa 1 en campo.....	69
Figura 13 Medición Trampa 1.....	70
Figura 14 Medición Trampa 2.....	70
Figura 15 Medición 1 testigo.....	71
Figura 16 Medición 2 trampa 1.....	71
Figura 17 Medición 2 trampa 2.....	72
Figura 18 Medición 1 testigo.....	72
Figura 19 Medición 3 trampa 1.....	73
Figura 20 Medición 3 trampa 2.....	73
Figura 21 Medición 3 testigo.....	74
Figura 22 Medición 4 trampa 1.....	74
Figura 23 Medición 4 trampa 2.....	75
Figura 24 Medición 4, testigo.....	75
Figura 25 Medición 5 trampa 1.....	76
Figura 26 Medición 5 trampa 1.....	76
Figura 27 Medición 5, testigo.....	77
Figura 28 Medición 6 trampa 1.....	78
Figura 29 Medición 6 trampa 2.....	78

Figura 30 Medición 6, testigo.....	78
Figura 31 Medición 7 trampa 1.....	79
Figura 32 Medición 7 trampa 2.....	79
Figura 33 Medición 7, testigo.....	80

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Procedimiento de ANOVA para la variable captura de insectos en trampas en el cultivo de Aguacate.....	84
Tabla 2 Procedimiento de Tukey para la variable captura de insectos en trampas en el cultivo de Aguacate.....	86

INDICE DE GRAFICAS.

Grafica 1 Interacción en el rendimiento de capturas.	85
Grafica 2 Distribucion de capturas.	85

INDICE DE ANEXOS.

Anexo 1 Evaluación de rendimiento de paneles	94
Anexo 2 Elaboración de las cajas para trampas.....	94
Anexo 3 Pruebas de estación de control.....	95
Anexo 4 Implementación en campo.....	95
Anexo 5 Acoplado.....	96
Anexo 6 Instalacion trampa 1.....	96
Anexo 7 Instalación trampa 2.....	97
Anexo 8 Funcionamiento en campo.....	97
Anexo 9 Captura.....	98

RESUMEN.

En la agricultura moderna, la detección temprana y el control efectivo de plagas son esenciales para asegurar la salud y productividad de los cultivos. En el caso del aguacate (*Persea americana* Mill), una de las estrategias emergentes es el uso de trampas inteligentes, que integran tecnologías avanzadas para la monitorización y control de plagas. Estas trampas combinan sensores, sistemas de captura automatizados y, en particular evalúa el uso de diferentes tipos de luces LED para atraer a los insectos plaga.

La presente investigación se centró en evaluar la efectividad de luz negra a diferencia de la luz led de longitud de onda de 380 nanómetros en la detección de plagas asociadas al cultivo del aguacate. A través del uso de trampas inteligentes, se buscó identificar cuál de estos tipos de luz es más eficiente para atraer y capturar a los insectos, permitiendo así una detección más temprana y un control más preciso de las plagas. Además, estas trampas están diseñadas para funcionar con energía solar, lo que las hace sostenibles y autónomas.

Para complementar el sistema de trampas inteligentes, se utilizó una estación meteorológica y cámaras para monitoreo remoto. La estación meteorológica proporciona datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales, que pueden influir en la actividad y el comportamiento de las plagas. Las cámaras permiten una supervisión continua y remota, facilitando la identificación y cuantificación de las plagas capturadas sin necesidad de visitas frecuentes al campo.

El uso de trampas inteligentes alimentadas por energía solar, junto con el apoyo de una estación meteorológica y cámaras de monitoreo remoto, no solo reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables, sino que

también tiene un impacto significativo en la disminución del uso de insecticidas. Al captar y controlar las plagas de manera más eficiente, se reduce la necesidad de aplicaciones químicas, contribuyendo a una agricultura más sostenible y minimizando los efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana. Este enfoque innovador puede mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de aguacate, promoviendo prácticas agrícolas más responsables y ecológicas.

ABSTRACT

In modern agriculture, early detection and effective pest control are essential to ensure the health and productivity of crops. In the case of avocado (*Persea americana* Mill), one emerging strategy is the use of smart traps, which integrate advanced technologies for pest monitoring and control. These traps combine sensors, automated capture systems, and, in particular, evaluate the use of different types of LED lights to attract pest insects.

This research focused on evaluating the effectiveness of black light compared to LED light with a wavelength of 380 nanometers in detecting pests associated with avocado cultivation. Through the use of smart traps, the aim was to identify which of these types of light is more efficient in attracting and capturing insects, allowing for earlier detection and more precise pest control. Additionally, these traps are designed to operate with solar energy, making them sustainable and autonomous.

To complement the smart trap system, a weather station and cameras were used for remote monitoring. The weather station provides real-time data on environmental conditions, which can influence pest activity and behavior. The cameras allow for continuous and remote supervision, facilitating the identification and quantification of captured pests without the need for frequent field visits.

The use of solar-powered smart traps, along with the support of a weather station and remote monitoring cameras, not only reduces the dependence on non-renewable energy sources but also significantly impacts the reduction of insecticide use. By capturing and controlling pests more efficiently, the need for chemical applications is minimized, contributing to more sustainable agriculture and reducing negative

impacts on the environment and human health. This innovative approach can improve the productivity and quality of avocado crops, promoting more responsible and eco-friendly agricultural practices.

I.INTRODUCCION.

El aguacate, conocido científicamente como *Persea americana* Mill, es uno de los productos agrícolas más significativos para la economía de México. Este fruto, popularmente apodado "oro verde", tiene un impacto considerable en diversos aspectos económicos del país

Liderazgo Mundial: México es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo, representando aproximadamente el 45% de la producción global. Estados como Michoacán, Jalisco y Nayarit son los mayores productores, con Michoacán a la cabeza, aportando más del 80% de la producción nacional.

El desarrollo de un dispositivo inteligente con LEDs y energía solar para el monitoreo y control de plagas en cultivos de aguacate (*Persea americana* Mill) representa una innovadora solución tecnológica en el ámbito agrícola. Este dispositivo tiene como objetivo principal optimizar el manejo de plagas mediante la integración de tecnologías limpias y sostenibles. Utilizando LEDs como atrayentes y energía solar como fuente de poder, el sistema busca no solo reducir el impacto ambiental, sino también ofrecer una alternativa eficiente y económica para los agricultores. La implementación de este tipo de tecnologías en cultivos de aguacate, un producto de gran relevancia económica a nivel global podría mejorar significativamente la productividad y calidad del fruto, al mismo tiempo que se promueve un enfoque más sustentable en la agricultura moderna.

II. ANTECEDENTES.

2.1. Generalidades del aguacate.

2.1.1 Origen.

El aguacate es originario de un área que se extiende del sur de México y el norte del Centro de América hasta el norte de Sudáfrica. Mesoamérica ha sido foco de domesticación convirtiéndose en el origen de la diversidad genética de América prueba de ello son los restos fósiles de aguacate encontrados en el valle de Tehuacán en el estado de Puebla, México, tienen una antigüedad de 8 mil años. Baiza (2003).

2.2 Características botánicas.

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae y al género *Persea*, es una planta dicotiledónea su nombre botánico es *Persea americana* y en la actualidad contiene alrededor de 85 especies; sus flores son hermafroditas por sus características estructurales las flores se consideran completas, a diferencia de otras especies frutales, su fecundación es dicogamia, en este caso cada flor abre dos veces y se cierra en el intermedio, la primera vez funciona como femenina, la segunda como masculina (Caballero, 2007).

2.2.1. Descripción Botánica.

Familia: Lauraceae

Subfamilia: Lauroideae

Tribu: Perseae

Subtribu: Perseineae

Género: Persea

Subgénero: Persea

Especie: Americana

Subespecies: Drymifolia, Guatemalensis, Americana.

2.2.2 Raíz.

Orduz y Rangel (2002) reportan que la raíz principal es corta y débil, está comprendida en los primeros 50 centímetros de suelo. El sistema radical está constituido por una raíz columnar primaria, notablemente ramificada en haces secundarios y terciarios. La raíz es el órgano que sirve para fijar la planta al suelo y así absorber las sustancias nutritivas y el agua.

2.2.3 Semilla.

La semilla es ovalada, la semilla de grupo racial antillano posee una cubierta mediana a gruesa y membranosa en otros grupos raciales es delgada el endocarpio o semilla es importante en la relación fruto-semilla. (Vladimir, 2003)

2.2.4 Hojas.

Son simples, enteras alternas, de forma oblanceolada, nervadura pinnada y ápices agudos; la inserción en el tallo es peciolada. Cuando son jóvenes

son de color rojizo, con epidermis pubescente y que al llegar a la madurez se tornan lisas, coriáceas y de color verde oscuro brillante en el haz, mientras que el envés tiene un color claro desprovisto de brillo. “La hoja es un órgano muy dinámico, en el que la concentración de nutrimentos está cambiando continuamente, influenciada por diferentes factores. La edad de la hoja y etapa fenológica tiene una influencia muy marcada sobre su composición. (Financiera rural, 2009).

2.2.5 Flor.

Las flores son, de color amarillo verdoso y de un diámetro 1-1.3 cm. Las flores son hermafroditas primero como femeninas, después cierran y vuelven a abrir como masculinas; cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0.1 % se transforman en fruto.

2.2.6 Tronco y ramas.

El tronco tiende a seguir una línea recta si se le pone un tutor durante los primeros meses de crecimiento, el tronco y las ramificaciones del aguacate presentan un crecimiento rápido, las ramas jóvenes son verdes y lisas, conforme se van desarrollando las lenticelas empiezan a ser más abundantes. El tronco y la rama proporcionan un soporte mecánico y hacen que las hojas se yergan para facilitar la fotosíntesis. Sostienen también flores y frutos, sirven como conducto de desplazamiento de agua y nutrientes. (Toerien ,2007)

2.2.7 Fruto.

Ryugo y Rodríguez (1994) mencionan que el fruto, que es una baya carnosa (no tiene endocarpio lignificado o endurecido) puede ser de superficie lisa o rugosa, su forma va desde elipsoide, obovado a obovoide. Su color es verde, oscureciéndose en la madurez y tomando un color violáceo a negro al madurar. el peso es diferente según el tipo ecológico, que va desde 50 gramos a 2.5 kg.

2.3 Requerimientos Edafológicos y Climáticos.

2.3.1 Altitud.

El aguacate tiene un amplio rango de adaptación, a diferentes altitudes, dependiendo de la raza, la Antillana prospera desde el nivel del mar hasta 80m; la guatemalteca hasta los 1200 y la raza Mexicana de 950 a 2,225 metros. A través del tiempo el aguacate se ha introducido a ambientes diferentes a los de su hábitat natural, adaptándose en general bien. (Sánchez, Alcantar, y Coria, 2000).

Las localidades productoras en Michoacán presentan una gran variación en altitudes ya que se ubican desde los 1,500 hasta los 2,225 metros sobre el nivel del mar (msnm). (Gallegos, 1983)

2.3.2 Temperatura.

El clima de la región donde se desarrolla espontáneamente y donde se originó el cultivo del aguacate, sur de México y Centro América, es el de la Zona tropical, comprendida aproximadamente entre los 10-30° de latitud

Norte y Sur; en líneas generales se caracteriza por una oscilación anual de las medias diarias de temperaturas perceptible, pero no exagerada, y que permite diferenciar una estación cálida de otra que, aunque no se pueda llamar fría, es fresca o menos cálida. (Ibar, 1986).

La fluctuación de la temperatura es responsable de la mayor parte de la variabilidad en la producción del aguacate, los requerimientos térmicos varían de acuerdo con la raza, así se tiene que la Antillana requiere una temperatura óptima entre 24 y 26°C y una mínima invernal no menor de 0°; en cuanto a la raza guatemalteca, ésta se desarrolla en un rango de temperaturas medias que oscila de 22-25°C y la temperatura invernal no descienda de los -2°. (Sánchez et al., 2000).

La raza mexicana requiere de una temperatura media óptima de 20° y una mínima invernal no menor de -4°C. Varias fuentes reportan que el aguacate se desarrolla mejor en rangos de temperatura mínima de 10°C y una máxima de 33 a 35°C, registros superiores a estos valores tienen un efecto negativo sobre el proceso de polinización y aumento de polen estéril.

Por otra parte, temperaturas inferiores a 10°C retardan la floración y fructificación, requieren temperaturas mínimas de 12-17°C y máximas de 28-30°C para la sucesión de la etapa de floración y fructificación. (Sánchez et al., 2000)

2.3.3 Precipitación.

Las precipitaciones deben fluctuar entre los 1,800 y 2,000mm anuales, que, distribuidas bastante uniformemente en todos los meses del año, corresponden más al clima de la zona ecuatorial que al del tropical. (Ibar, 1986).

De acuerdo con la raza y origen de la misma, los requerimientos de lluvia para la antillana son de 1,100 a 3,350mm, para la guatemalteca de 800-3,400mm, mientras que la mexicana requiere de 650-2,200mm. En general se puede decir que el aguacate de manera natural no prospera en ambientes con isoyetas menores a 650mm, por lo que al introducirlo en ambientes más secos necesariamente se requerirá de irrigación. (Sánchez et al., 2000,).

2.3.4 Suelo.

El aguacate es bastante adaptable a los diversos tipos de suelos desde los arenosos y sueltos hasta los francos, limosos y compactos; pero las condiciones óptimas se tendrán en un suelo básicamente permeable y bien drenado, de tierras francas, se considera media húmicas ricas en materia orgánica y reacción ligeramente ácida. (Ibar, 1986).

La capacidad de retención de la humedad, que debe ser la necesaria para el normal desarrollo de la planta, es muy importante, pues un suelo demasiado arenoso o granuloso, al ser poco retenido, ocasionaría daños por sequedad; en cambio, un suelo limoso demasiado coloidal, al producir encharcamientos, puede ser un buen medio para el desarrollo de enfermedades criptogámicas y causa de asfixia de las raíces, al evitar la aireación del suelo.

Para conseguir un buen drenaje que elimine los encharcamientos, debe procurarse que la capa freática sea profunda, al menos 75cm del nivel del suelo. Estos suelos deben recibir durante todo el año una precipitación acuosa de 900mm por lo menos, la cual, de no conseguirse, debe ser sustituido por los riegos.

La reacción del suelo debe ser neutra o ligeramente ácida (de pH entre 6 y 7.5); relacionada con la reacción está la presencia del carbonato cálcico activo y pH superior a 7.5, que produce alcalinidad del suelo. Al ser el aguacate bastante calcífugo, no se puede cultivar en terrenos demasiado calizos, siendo suficientes con los que tienen un 40% de caliza. La carencia de hierro, tanto por falta o por su insolubilización en terrenos demasiado calizos, le ocasiona la clorosis de las hojas. Un exceso de sodio también es perjudicial al aguacate por lo que la salinidad del suelo no debe pasar de 0.5 mmhos/cm. Las distintas razas requieren suelos similares, quizás un poco más ácidos (pH 6-7) las variedades antillana y guatemalteca. (Ibar, 1986)

2.4 Principales enfermedades del Aguacate.

Morales (2009) menciona las siguientes enfermedades: Antracnosis, viruela, clavo, sarampión, marchitez de plantas, tizón floral (*Colletotrichum*, Penz (anamorfo) = *Glomerella cingulata*), roña (*Sphaceloma perseae*), anillamiento de pedúnculo (*Diplodia* sp., *Alternaria* sp., *Helminthosporium* sp., *Dothiorella* sp., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotiopsis* sp. y *Xanthomonas* sp.), agalla de corona (*Agrobacterium tumefaciens*), mancha del sol, pudrición del fruto (*Phytophthora citricola*) y tizón de la hoja (*Pestalotiopsis versicolor*).

Otras enfermedades incluyen la tristeza del aguacatero (*Phytophthora cinnamomi*), cáncer (*Phytophthora boehmeriae*), roña (*Sphaceloma perseae* J.), pudrición negra del fruto (*Phytophthora boehmeriae*) y antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) (Cruz, 2003).

2.5 Principales plagas del Aguacate.

Bisono y Hernandez (2008) reportan que el aguacate es atacado por una diversidad de plagas y entre las de mayor importancia están, la araña roja (*Olygonychus punicae* H), trips (*Liothrips perseae* W), barrenador pequeño de la semilla (*Conotrachelus perseae* B), barrenador de troncos y ramas (*Copturus aguacatae* k), Araña cristalina (*Oligonychus perseae* T., B. y A.), gusano telarañero, trips (Thysanoptera), nemátodos y ácaros.

2.6 Establecimiento de la plantación.

2.6.1 Preparación del terreno.

Es una actividad fundamental, para lograr un crecimiento y desarrollo de los árboles de aguacate, se excavan sitios de observación del subsuelo para observar la profundidad y perfil del suelo. además del subsuelo, se deben dar los pasos de rastra que sean necesarios para dejar bien mullido el suelo, para facilitar el crecimiento de las raíces del árbol. (Sánchez, et al., 2000).

2.6.2 Época de Plantación.

Si el sitio donde se establecerá el huerto está libre de heladas, la plantación puede efectuarse en cualquier época del año, siempre y cuando se disponga de riego, los árboles plantados en primavera requerirán riegos frecuentes hasta que se establezca el temporal de lluvias; alcanzarán un buen desarrollo para tolerar el siguiente invierno y obtener una buena brotación. (Sánchez, et al., 2000).

2.6.3 Trazo de la Plantación y Densidad de Plantas.

Los sistemas de trazo más comunes son el cuadrado o el marco real, y el hexagonal o tresbolillo. La plantación en suelos de buena calidad se hace en cepas excavadas con dimensiones de 40x40x40 cm; en suelos que no tengan características óptimas, las cepas pueden ser de 60x60x60 cm. (Sánchez, et al., 2000).

El número de árboles por ha depende de la decisión de elegir huertos con altas densidades o bien densidades bajas. El distanciamiento entre árboles en huertos con altas densidades se inicia con distancias de 4 a 5 m; en huertos con densidad media la distancia inicial será de 7 a 9 m y en huertos con bajas densidades la distancia puede ser de 10 a 12 m.

En densidades altas en marco real 5x5 se puede tener una densidad de 400 árboles/ha y en tresbolillo 462 árboles/ha. En densidades medias de 7x7 la densidad en marco real es de 204 árboles/ha y en tresbolillo 237 árboles/ha. Y en densidades bajas de 10x10 la densidad será de 100 árboles/ha y en tresbolillo serán 115 árboles/ha. (Sánchez, et al., 2000).

2.6.4 Riego.

La franja aguacatera de México se caracteriza por ser de clima subtropical, húmedo. El incremento de la productividad del cultivo del aguacate mediante un suministro de riego es superior en comparación a la obtenida bajo condiciones de temporal, tanto en producción de fruta como en vigor y aspecto del árbol.

De acuerdo con el tamaño y densidad del follaje, así como de las condiciones del ambiente, los árboles absorben diferentes cantidades de agua; un suministro de agua en los meses secos y calurosos más que en

los húmedos y frescos de invierno. En los últimos años la superficie con riego presurizado ha ido aumentando; la aspersión se ha ido aumentando de manera constante a través del tiempo y los sistemas de riego localizado de alta frecuencia han ganado importancia en el cultivo. Se ha observado en la región aguacatera de Uruapan el riego debe ser proporcionado a partir de enero, hasta mayo y la cantidad de agua requerida en esta zona es de 400mm distribuidos en cinco meses. (Sánchez et al., 2000).

2.7 Fases del aguacate.

El aguacate tiene un largo periodo de crecimiento en el total del ciclo anual, el cual puede ser de 8 a 10 meses. Algunos tipos de aguacate en condiciones ambientales favorables crecen interrumidamente, es decir que no tiene un periodo de reposo y está en constante actividad vegetativa.

2.7.1 Floración.

Por lo general el desarrollo de las inflorescencias del aguacate ocurre en las ramas de madera de un año, aunque en los brotes del mismo año también. De ahí la importancia del cuidado de las podas en cuidar o mantener las ramas secundarias ya que es donde se encuentran las fructíferas, eliminando las ramas chupones.

Se han determinado 5 estados fenológicos para la floración: A, B, C, D, y E.

Estado A: Yema apical amarilla rodeada de yemas axilares verde claras (yemas de floración).

Estado B: Diferenciación de yemas axilares y formación de botones florales.

Estado C: Alargamiento de los pedúnculos florales; el ápice puede alargarse o no.

Estado D: Están individualizados los racimos florales alrededor del eje de la inflorescencia.

Estado E: Se separan los pedúnculos florales; apertura de pétalos; y la yema terminal se desarrolla en la antesis o después de ella.

2.7.2 Fructificación.

Al culminar la floración se produce la fecundación y las primeras divisiones celulares que le siguen; en este momento, el fruto alcanza el estado fenológico del cuajado, de aquí en adelante comienza el desarrollo del fruto, el cual termina con la madurez del mismo. (Larios et al 2007)

El fruto pasa por tres etapas distintas de desarrollo:

- a) multiplicación celular
- b) engrosamiento celular
- c) maduración

2.8 Fertilización del aguacate.

La fertilización es un proceso complejo que tiene por objeto incorporar nutrientes en forma directa o indirecta a los vegetales y al suelo, para mejorar la calidad y aumentar la cantidad de la producción (Tapia, 2007).

2.8.1 Fertilización química.

Para la aplicación de un programa de dosificación nutrimental necesariamente conlleva el monitoreo de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, la evaluación de la concentración nutrimental en hoja madura no senescente y en brotes sin frutos tomando la muestra foliar como lo describen Koen y Plessis (1992.)

Cuadro 1 Fertilización anual sugerida en aguacate, para suplementar nutrimentos exportados y mantenimiento a la fertilidad del suelo

N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
200-300	60	200-400	-	-	-	-
200	200	100	30	15	-	2
200	200	300	25	5	-	1.5

Fuente: Homskey (2000), Sánchez (2001), Tapia (2007)

La cantidad de fertilizante a aplicar varía con la edad del cultivo (cuadro 2), estos niveles de nutrientes varían en función del rendimiento del árbol, vigor de la planta y calidad del fruto producido en cuanto al peso, tamaño, contenido de materia seca y contenido de aceite. Huertos con altos valores de estos parámetros requieren mayores cantidades de estas dosis sugeridas de fertilizante. En el cuadro 2 muestra las dosis requeridas por edad de la planta.

Cuadro 2 Fertilización anual inicial sugerida en aguacate hasta los 5 años.

Edad	Urea	Superfosfato Triple de Calcio	Sulfato de Potasio
	(46% de N)	(46% de P ₂ O ₅)	(50% de K ₂ O)
1	0.2	0.1	0.0
2	0.5	0.1	0.0
3	1.0	0.6	0.0
4	1.5	1.2	0.5
5	2.0	1.5	1.0
>6	4.0	2.0	4.0

Tapia et al (2009)

En el cuadro 3 se muestran los valores nutrimentales del aguacate para aplicación en México, en huertas altamente productivas y en plena producción.

Cuadro 3 Valores de referencia nutricional por diferentes autores para aguacate.

Nutriente	Valores estándar		
	Palacios (1986)	Aguilera et al (2006)	Mills y Jones (1996)
Nitrógeno (%)	2.12	1.90	1.6-2.0
Fosforo (%)	0.13	0.09	0.08-0.25
Potasio (%)	0.87	0.93	0.75-2.0
Calcio (%)	2.02	1.35	1.0-3.0
Magnesio (%)	0.64	0.47	0.25-0.80
Fierro (ppm)	79	124	0.20-0.60
Cobre (ppm)	129	120	5-15
Zinc (ppm)	22	32	30-150
Manganeso (ppm)	188	133	30-500
Boro (ppm)	-	10	50-100

Tapia et al (2009)

2.8.2 Función y síntomas de deficiencia de los elementos nutricionales en el cultivo del aguacate. (Cuadro 4).

El cultivo del aguacate requiere 16 elementos esenciales entre ellos, elementos orgánicos: carbono; gases: hidrógeno y oxígeno, minerales entre los que se conocen los macronutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio y micronutrientes como el hierro, zinc, molibdeno, cobre, cloro, silicio, sodio, cobalto, manganeso y vanadio, algunos de ellos requiriéndose en cantidades muy bajas o trazas, en algunos nutrimentos como el boro el intervalo entre la deficiencia y la toxicidad es muy cercano uno de otro. (Sánchez, 2001).

Cuadro 4 Elementos nutritivos en aguacate, función en la planta y síntomas de deficiencia. Sánchez (1999) y Maldonado (2002)

ELEMENTO	SÍMBOLO	FÓRMULA DE ABSORCIÓN	FUNCIÓN EN LA PLANTA	SÍNTOMA DE DEFICIENCIA
Nitrógeno	N	NK_4^+, NO_3^-	Proteínas y clorofila	Amarillamiento general, brotación ausente, fruto pequeño
Fosforo	P	$H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}$	Activador fotosíntesis, transferencia de energía, mecanismos productivos.	Reducción de crecimiento y tamaño de hojas, quemaduras de foliares.
Calcio	Ca	Ca^{2+}	Crecimiento resistencia a enfermedades, mas vida de anaquel.	Rigidez celular, quemaduras y deformación celular.
Potasio	K	K^+	Activador fisiológico general, calidad de fruto, resistencia de enfermedades.	Coloración pardusca y necrosis en lunares de la hoja.
Magnesio	Mg	Mg^{2+}	Activador enzimático, clorofila y respiración.	Restricción de crecimiento, amarillamiento de las hojas con manchas pardas en los márgenes.
Azufre	S	SO_4^{2-}	Síntesis de aminoácidos y proteínas, fotosíntesis.	Amarillamiento foliar y necrosis en márgenes.
Zinc	Zn	Zn^{2+}	Activador enzimático, calidad de fruto.	Amarillamiento intervenal, deformación foliar, frutos redondos y pequeños.
Hierro	Fe	Fe^{2+}	Fotosíntesis, síntesis de proteínas respiración, transferencia de energía.	Hojas amarillas con nervaduras verdes.
Cobre	Cu	Cu^{2+}	Fotosíntesis.	Coloración pardo-rojiza de

Manganeso	Mn	Mn ²⁺	Crecimiento, producción.	nervaduras, defoliación prematura, brotación anormal.
Boro	B	B(OH) ₃	Crecimiento, producción, floración y desarrollo de fruto.	Clorosis intervenal, manchas necróticas en hojas, amarillamiento intervenal.
Cloro	Cl	Cl ⁻	Fotólisis del agua.	Clorosis general
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	Reducción de nitratos, no evidencias.	
Silicio	Si	Si(OH) ₄	Estructura celular, resistencia a enfermedades.	Mayor susceptibilidad a enfermedades
Cobalto	Co	Co ²⁺		
Vanadio	V	V ⁵⁺		

2.9 Tecnologías para el monitoreo y control de plagas

2.9.1 Trampas inteligentes

Las trampas inteligentes son dispositivos avanzados utilizados para la monitorización y control de plagas, que combinan tecnologías modernas como el Internet de las Cosas (IoT), el aprendizaje automático y la visión por computadora. Estas trampas están diseñadas para detectar, identificar y cuantificar plagas de manera automática y en tiempo real, lo que mejora significativamente la precisión y eficiencia del manejo de plagas en comparación con los métodos tradicionales.

2.9.2 Avance tecnológico para el monitoreo de insectos

Los insectos son el grupo más diverso de organismos eucariotas de la Tierra, que comprenden aproximadamente el 80% de toda la vida animal. Esta asombrosa diversidad (con al menos el 80% de las especies de insectos sin describir), combinada con nuestro escaso conocimiento de sus distribuciones y ecología y la heterogeneidad espaciotemporal de su

ocurrencia constituyen importantes desafíos para el estudio de los insectos y sus respuestas a los cambios ambientales. (Luke 2017)

El monitoreo de poblaciones de insectos y sus respuestas a los cambios ambientales presenta desafíos debido a la diversidad y cantidad de especies, así como a las limitaciones de las técnicas tradicionales. Por ejemplo, la investigación de aborda la respuesta de insectos acuáticos a la variabilidad climática, destacando la resistencia y resiliencia de algunas especies a las perturbaciones hidrológicas y térmicas, pero también identificando vulnerabilidades específicas. Por otro lado, Rudman et al. (2022) demuestran la adaptación rápida y continua de las poblaciones de *Drosophila melanogaster* a cambios ambientales estacionales, mostrando cambios fenotípicos y genómicos significativos a lo largo de cortos intervalos de tiempo (Rudman et al., 2022). Montgomery et al. (2021) discuten la necesidad de métodos estandarizados para el monitoreo de insectos, proponiendo prácticas recomendadas para maximizar el retorno de los métodos de inventario probados y sugiriendo protocolos escalables para diferentes contextos (Montgomery et al., 2021). Además, Desjonquères et al. (2020) utilizan el monitoreo acústico para evaluar la actividad de insectos acuáticos, mostrando cómo factores como la temperatura y el ruido antropogénico afectan su comportamiento (Desjonquères et al., 2020). Finalmente, Lamarre et al. (2020) revisan esquemas de monitoreo existentes y consideran vías innovadoras para mejorar el seguimiento de artrópodos en sistemas tropicales, resaltando la importancia de datos a largo plazo para entender las respuestas a amenazas antropogénicas (Lamarre et al., 2020)

Funcionamiento de las trampas inteligentes:

Detección Automática:

Sensores y Cámaras: Las trampas inteligentes están equipadas con sensores y cámaras que capturan imágenes o datos del entorno y de los insectos que caen en la trampa.

Procesamiento de Imágenes:

Visión por Computadora: Las imágenes capturadas son procesadas mediante técnicas de visión por computadora que permiten identificar características específicas de las plagas, como su forma, tamaño y color.

Aprendizaje Automático:

Modelos de Aprendizaje Profundo: Utilizan algoritmos de aprendizaje profundo (Deep learning) para analizar las imágenes y clasificar los insectos. Modelos como

YOLO (You Only Look Once) pueden detectar y contar el número de plagas en las imágenes.

Comunicación y Almacenamiento de Datos:

Conectividad IoT: Las trampas inteligentes están conectadas a la red mediante tecnologías IoT, lo que permite enviar los datos recopilados a servidores en la nube para su almacenamiento y análisis.

Acceso Remoto: Los datos se pueden acceder de forma remota por los agricultores o gestores de plagas a través de aplicaciones móviles o plataformas web.

Análisis y Acción:

Análisis de Datos: Los datos recopilados son analizados para obtener información sobre la densidad de plagas y su distribución en el tiempo y espacio.

Decisiones Basadas en Datos: Esta información permite tomar decisiones informadas sobre el uso de pesticidas, la necesidad de intervención y la implementación de medidas preventivas.

2.9.3 Visión por computadora (CV)

La visión por computadora es un campo interdisciplinario de la informática cuyo objetivo es replicar la capacidad del ojo humano para interpretar y comprender imágenes y videos del mundo real. A través de la visión por computadora, las máquinas pueden obtener, procesar y analizar datos visuales de manera similar a como lo hace el sistema visual humano, sin embargo, con ventajas muy significativas.

Componentes y Tecnologías Clave

Adquisición de Imágenes: Involucra el uso de cámaras y sensores para capturar imágenes y videos. Las imágenes pueden ser en 2D (fotografías) o 3D (escáneres láser y cámaras estéreo).

Procesamiento de Imágenes: Consiste en mejorar y transformar las imágenes para facilitar su análisis. Esto incluye técnicas como la filtración, el ajuste de contraste y la eliminación de ruido.

Reconocimiento de Patrones: La identificación de patrones y características específicas dentro de una imagen, como bordes, formas y texturas.

Segmentación de Imágenes: La división de una imagen en partes o segmentos que son más fáciles de analizar. Esto puede incluir separar el fondo del primer plano o identificar objetos individuales en una imagen.

Análisis y Clasificación: Uso de algoritmos y modelos de aprendizaje automático para identificar y clasificar objetos dentro de las imágenes. Esto puede incluir el reconocimiento de rostros, la detección de objetos y la clasificación de escenas.

Deep Learning y Redes Neuronales Convolucionales (CNN): Estas técnicas avanzadas de aprendizaje automático son especialmente eficaces para el reconocimiento de imágenes. Las CNN pueden aprender características y patrones directamente de los datos de imagen, lo que las hace muy poderosas para tareas de visión por computadora. (Cardoso et al.,2022)

Aplicaciones

1. Seguridad y Vigilancia: Sistemas de reconocimiento facial y monitoreo de actividades en tiempo real.
2. Automóviles Autónomos: Detección y reconocimiento de obstáculos, señales de tráfico y otros vehículos.
3. Salud y Medicina: Análisis de imágenes médicas para detectar enfermedades y condiciones.
4. Agricultura: Monitoreo de cultivos y detección de plagas.
5. Industria y Manufactura: Inspección de productos y control de calidad.
6. Realidad Aumentada y Virtual: Reconocimiento y seguimiento de objetos en tiempo real para aplicaciones interactivas.

2.9.4 Los LEDS como fuente de atracción de insectos

Tipos de longitud de onda de Luz UV

El uso de luces LED para la iluminación ornamental y callejera ha mostrado una influencia significativa en la atracción de insectos nocturnos, aunque con variaciones notables según el tipo de LED y su espectro de emisión. La investigación se encontró que la combinación de LEDs verdes y ámbar en la iluminación ornamental reduce la atracción de insectos en comparación con las lámparas de haluro metálico tradicionales. Por su parte, (Kamei et al. 2021) demostraron que los LEDs blancos con diferentes temperaturas de color correlacionadas (CCT) atraen menos insectos que las lámparas de vapor de mercurio, especialmente para ciertos órdenes de insectos como los hemípteros y dípteros. (Szanyi et al. 2022) señalaron que las fuentes de luz artificial con un rango de longitud de onda entre 360 y 407 nm son altamente atractivas para los tricópteros, lo que sugiere que ajustar el espectro de emisión de los LEDs puede mitigar su impacto ambiental. Además, el estudio sobre el uso de lámparas LED en trampas de luz para la gestión integrada de plagas mostró que estas lámparas son más eficientes en la captura de insectos plaga y reducen el consumo energético, lo que sugiere un doble beneficio ecológico y económico. En conjunto, estas investigaciones subrayan la necesidad de una cuidadosa selección y diseño de los sistemas de iluminación LED para minimizar su impacto negativo en las poblaciones de insectos y el medio ambiente. (Martín et al,2021)

Existen tres tipos principales de luz ultravioleta (UV), clasificados según sus longitudes de onda. Cada tipo tiene diferentes aplicaciones y efectos biológicos:

Características: Es la radiación UV más cercana a la luz visible. Tiene la mayor longitud de onda y la menor energía entre los tipos de UV.

Aplicaciones:

En la agricultura, se utiliza para mejorar la calidad de los productos durante el secado, sin dañar el material vegetal

En medicina, para tratamientos dermatológicos, como la terapia PUVA para el tratamiento de la psoriasis.

UV-B (280-320 nm):

Características: Tiene una longitud de onda intermedia y energía mayor que el UVA, pero menor que el UV-C. Es parcialmente absorbida por la capa de ozono.

Aplicaciones:

En la agricultura, se usa en investigaciones para estudiar la resistencia de las plantas al estrés UV y su efecto en la síntesis de compuestos secundarios beneficiosos.

En medicina, se utiliza para la producción de vitamina D en la piel y en tratamientos de enfermedades cutáneas.

En estudios ecológicos, para investigar el impacto de la radiación UV en los ecosistemas.

UV-C (200-280 nm):

Características: Tiene la longitud de onda más corta y la energía más alta. Es completamente absorbida por la atmósfera terrestre y no llega a la superficie.

Aplicaciones:

Se utiliza ampliamente en desinfección y esterilización porque puede destruir el ADN y ARN de microorganismos, haciéndola efectiva contra bacterias, virus y hongos (Savchenko et al., 2023).

En el tratamiento de aguas residuales y potables para eliminar patógenos y garantizar la seguridad del agua (Nguyen et al., 2019).

En instalaciones hospitalarias y en la industria alimentaria para desinfectar superficies y equipos.

Estos tipos de luz UV tienen diferentes aplicaciones y efectos en la agricultura y otros campos, proporcionando herramientas valiosas para mejorar la seguridad, la calidad y la eficiencia en diversos procesos.

2.9.5. Uso de LEDs en el Control de Plagas

El uso de LEDs (diodos emisores de luz) en el control de plagas ha ganado popularidad debido a su eficiencia energética, durabilidad y capacidad para emitir luz en longitudes de onda específicas. Estas características permiten a los LEDs ser integrados en diversas aplicaciones para la gestión de plagas de manera efectiva.

Beneficios del Uso de LEDs en el Control de Plagas:

Eficiencia Energética:

Consumo Reducido: Los LEDs consumen menos energía en comparación con las fuentes de luz tradicionales, lo que los hace ideales para aplicaciones continuas y de larga duración en trampas de plagas.

Larga Vida Útil: Los LEDs tienen una vida útil más larga, reduciendo la necesidad de reemplazo frecuente y, por ende, los costos operativos.

Emisión de Longitudes de Onda Específicas:

Personalización de Espectro: Los LEDs pueden ser diseñados para emitir luz en longitudes de onda específicas que son más atractivas para ciertos tipos de insectos. Por ejemplo, los LEDs UV-A en el rango de 350-370 nm son efectivos para atraer mosquitos, escarabajos y polillas.

Control de Emisión: La capacidad de ajustar la intensidad y el espectro de emisión de los LEDs permite un control más preciso sobre las señales luminosas emitidas, optimizando la atracción de plagas específicas.

Aplicaciones en Trampas Inteligentes:

Integración con IoT: Los LEDs pueden ser integrados en trampas inteligentes que utilizan el Internet de las Cosas (IoT) para monitorizar y gestionar poblaciones de plagas de manera remota. Los datos recopilados pueden ser analizados para tomar decisiones informadas sobre el manejo de plagas.

Combinación con Sensores: Las trampas inteligentes pueden combinar LEDs con sensores de movimiento, cámaras y otros dispositivos para mejorar la detección y cuantificación de plagas.

2.9.6 Ejemplos de Aplicaciones de LEDs en el Control de Plagas

Recientemente, se han aplicado trampas de luz que utilizan luces de diodos emisores de luz (LED) para monitorear o controlar plagas de insectos. El gusano cogollero, *Mythimna separata* Walker, es una importante plaga de insectos que ha causado daños a varios cultivos de cereales, como el maíz, el trigo y el arroz. El presente estudio tiene como objetivo buscar una longitud de onda sensible que cause una alta respuesta fototáctica en *M. separata*. El estudio evaluó las respuestas

fototácticas de *M. separata* a varias luces LED de diferentes longitudes de onda e intensidades de luminancia en condiciones de laboratorio. Los resultados mostraron que la luz LED verde (520 nm) dio lugar a una respuesta fototáctica significativa de las polillas *M. separata* en comparación con las luces LED de otras longitudes de onda. Además, la tasa de atracción más alta de las polillas a la luz LED verde apareció en el grupo de intensidad de luminancia de 200 lux en comparación con los otros grupos de intensidades.

Los experimentos en condiciones óptimas basados en los experimentos anteriores revelaron que la luz LED verde exhibió la tasa de atracción más fuerte (64,44%) entre todos los grupos experimentales. Un experimento realizado en una jaula de red también mostró que la luz LED verde resultó en la respuesta fototáctica más alta de las polillas *M. separata*, 1,7 veces más que una luz negra comercial utilizada como control. Estos hallazgos demuestran claramente que las polillas *M. separata* tienen una alta sensibilidad a la luz LED verde. Por lo tanto, una trampa de luz equipada con luz LED verde podría ser útil para monitorear y controlar las polillas *M. separata*. (Kim et al, 2019)

Un estudio encontró que las bombillas incandescentes atraían significativamente más insectos acuáticos gigantes africanos en comparación con los tubos fluorescentes, lo que sugiere que las bombillas incandescentes son mejores para atraer estos insectos en estudios científicos sobre el comportamiento de plagas (Nwosu et al., 2012).

Los LED de colores púrpura, azul y verde han mostrado ser eficaces para atrapar plagas agrícolas, con una proporción específica de 2:8:4 que mostró el mejor efecto de atrapamiento fototáctico (Zhou et al., 2016). Además, las lámparas LED de luz verde resultaron en la mayor respuesta fototáctica de las polillas *Mythimna separata*, demostrando su sensibilidad

a esta longitud de onda específica para propósitos de monitoreo y control (Kim et al., 2019).

Un estudio mostró que *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, es una plaga fitófaga común de muchos cultivos en todo el mundo. En la actualidad, existen pocos estudios publicados sobre el manejo respetuoso con el medio ambiente de esta plaga, en comparación con los que se realizan sobre el uso de plaguicidas químicos. Los pocos estudios disponibles han sugerido que la respuesta fototáctica de este escarabajo podría ser explotada en su manejo. Estudiamos el comportamiento fototáctico de *H. vigintioctomaculata* en respuesta a 17 longitudes de onda de luces monocromáticas y 10 intensidades de iluminación de tres de estas longitudes de onda. Los escarabajos mostraron una respuesta fototáctica positiva a la mayoría de las longitudes de onda de 340 a 689 nm, excepto a la longitud de onda azul (492 nm). Además, los escarabajos exhibieron diferentes niveles de sensibilidad a las intensidades de iluminación de 10 a 190 lux bajo luz ultravioleta (UV) (340 nm), roja (649 nm), verde (510 nm) y blanca. El patrón general de la tasa de respuesta fototáctica, de longitudes de onda cortas a largas, fue una curva en forma de U. Por lo tanto, los escarabajos eran más sensibles a la luz ultravioleta y a la luz roja. La respuesta de los escarabajos a la intensidad de la iluminación se correlacionó con la longitud de onda de la luz; por lo tanto, la tasa de respuesta fototáctica (PRR) a la luz UV siempre fue mayor en comparación con las PRR a otra luz. Nuestros resultados destacan el comportamiento fototáctico positivo de *H. vigintioctomaculata* a diferentes longitudes de onda de luz e intensidades de iluminación. Tal comportamiento podría ser aprovechado para el manejo no invasivo utilizando luces de colores para controlar esta importante plaga agrícola.

En general, los LEDs han demostrado ser efectivos en la manipulación del comportamiento de plagas, permitiendo un mejor control y monitoreo en estudios científicos. La utilización de diferentes longitudes de onda puede proporcionar información valiosa para el desarrollo de métodos de control de plagas más eficientes y ambientalmente amigables (Jiuxuan et al., 2015).

2.9.7. Uso de LEDs en la agricultura

Protección de Cultivos: Los LEDs se utilizan en trampas colocadas en campos agrícolas para monitorizar y controlar poblaciones de plagas que afectan los cultivos. Esto ayuda a reducir el uso de pesticidas y a implementar estrategias de manejo integrado de plagas. Monitoreo de Plagas: Las trampas con LEDs pueden ser conectadas a sistemas de monitorización remota, proporcionando datos en tiempo real sobre la presencia y densidad de plagas, lo que permite una respuesta rápida y efectiva, los avances y beneficios del uso de luces LED en la agricultura. presentan un dispositivo de iluminación LED pulsada que mejora la uniformidad de la iluminación y aumenta la eficiencia energética en la producción de invernaderos. En un experimento con *Brassica chinensis*, se observó que el peso fresco promedio de las plantas bajo esta iluminación fue 33.1% mayor que con luminarias LED convencionales (Chen et al., 2023)

En sistemas de agricultura vertical, las luces LED mejoran los compuestos bioactivos y la productividad de los cultivos de hortalizas, contribuyendo a aumentar los parámetros nutricionales y a reducir el uso de recursos naturales a través de sistemas hidropónicos (Nájera et al., 2022). la luz UV, particularmente la UV-C, es efectiva para la desinfección de pitahaya y sus

productos derivados, sin comprometer significativamente su calidad. (Ochoa et al .,2012)

2.10 Estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas juegan un papel crucial en la agricultura moderna, proporcionando datos precisos y en tiempo real sobre diversas condiciones climáticas. Estas ventajas permiten a los agricultores tomar decisiones informadas y optimizar sus prácticas agrícolas.

2.10.1 Estaciones meteorológicas en la Agronomía

La agrometeorología juega un papel importante en la Agricultura de Precisión para el manejo de recursos y afecta tanto la calidad como la cantidad de los productos agrícolas. Las soluciones existentes para el monitoreo de parámetros meteorológicos en agrometeorología son altamente globales y costosas. Estas soluciones son la mayoría de las veces inaccesibles para el hombre común o los agricultores y requieren visitas físicas frecuentes al campo para obtener información. Sin embargo, en la agricultura se requiere un monitoreo de las condiciones climáticas muy localizadas, ya que las condiciones climáticas aplicables a las tierras agrícolas de una ciudad pueden no ser las mismas para un agricultor de pequeñas zonas rurales. Las condiciones meteorológicas como la velocidad del viento, la dirección del viento, las precipitaciones, la radiación solar, la presión atmosférica, el nivel de partículas del aire, la humedad y la medición de la temperatura juegan un papel importante en diferentes campos como la agricultura, la ciencia, la ingeniería y la tecnología. (Singh et al 2020)

Gestión de Recursos y Toma de Decisiones:

Las estaciones meteorológicas proporcionan datos precisos y en tiempo real sobre condiciones climáticas como la temperatura, humedad, velocidad del viento, dirección del viento y precipitación. Esta información es vital para la gestión diaria de las granjas, ayudando a los agricultores a tomar decisiones informadas para optimizar la producción y mitigar el impacto de eventos climáticos adversos.

1. Monitoreo de Condiciones Climáticas en Tiempo Real

Las estaciones meteorológicas proporcionan datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones climáticas locales, incluyendo temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, y precipitación. Esta información permite a los agricultores ajustar sus prácticas agrícolas diarias para maximizar el rendimiento de los cultivos y minimizar los riesgos asociados con las condiciones climáticas (Nguyen et al.,2019)

2. Gestión del Riego

Las estaciones meteorológicas son esenciales para la gestión eficiente del riego. Al monitorear la humedad del suelo y las tasas de evapotranspiración, los agricultores pueden programar los sistemas de riego de manera más precisa, evitando el desperdicio de agua y asegurando que los cultivos reciban la cantidad adecuada de humedad (Singh et al., 2020).

3. Protección contra Heladas

En regiones propensas a las heladas, las estaciones meteorológicas pueden predecir la formación de heladas con horas de antelación. Esta información permite a los agricultores tomar medidas preventivas, como

la activación de sistemas de riego antiheladas o el uso de coberturas protectoras, para proteger los cultivos sensibles (Lage y Correa, 2015).

4. Optimización del Uso de Fertilizantes y Pesticidas

El clima influye en la producción y productividad de diversos cultivos. Si los agricultores conocen los factores meteorológicos en tiempo real, como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento, la dirección del viento y las precipitaciones será eficaz para evitar la pérdida de la cosecha y lograr un alto rendimiento con mejores rendimientos económicos. La información meteorológica adecuada en el momento adecuado facilita a los agricultores la planificación de las operaciones agrícolas desde la selección de los cultivos hasta la postcosecha para evitar pérdidas de cosechas

El monitoreo preciso de las condiciones climáticas ayuda a los agricultores a determinar los momentos óptimos para la aplicación de fertilizantes y pesticidas.

Esto no solo mejora la eficacia de estos insumos, sino que también reduce el impacto ambiental y los costos asociados con su uso excesivo (Prasad et al., 2020).

5. Mitigación de Riesgos Climáticos

Las estaciones meteorológicas desempeñan un papel crucial en la mitigación de riesgos climáticos, proporcionando datos que pueden utilizarse para la planificación de emergencias y la gestión de desastres. Esto incluye la predicción de eventos climáticos extremos, como tormentas y sequías, y la implementación de estrategias para minimizar su impacto en la producción agrícola (Chattopadhyay et al, 2021).

6. Apoyo a la Agricultura de Precisión

En la agricultura de precisión, las estaciones meteorológicas son una herramienta vital para la toma de decisiones informadas. Los datos climáticos se integran con otras tecnologías, como los sensores de suelo y los drones, para proporcionar una visión detallada y en tiempo real de las condiciones del campo. Esto permite a los agricultores gestionar sus cultivos con una precisión sin precedentes (Pavlovskii et al. ,2018).

7. Mejora de la Productividad y Reducción de Costos

Organismos dedicados al cuidado del medio ambiente, de la salud y de la alimentación como son la FAO y la UE, recomiendan la necesidad de una adaptación tecnológica para la agricultura de proximidad. La toma de decisiones basada en costumbres o prácticas ancestrales debe adaptarse a los cambios que se producen en el medio ambiente y en la sociedad. Estos cambios, debidos en buena parte al cambio climático, se pueden medir y controlar para una mejor producción en la agricultura usando tecnología. En este trabajo, las estaciones agrometeorológicas se muestran como una necesidad y una solución viable para controlar mejor los cambios y poder tomar decisiones basadas en evidencia científica. Los registros meteorológicos, que son parte de la agricultura de precisión, son importantes también para la agricultura periurbana ya que permiten tener más beneficios a los agricultores y al consumidor. Estos beneficios derivan principalmente de una mayor productividad de los cultivos y del menor uso de recursos, lo que reduce el precio de producción y de venta, además de reducir el impacto medio ambiental.

Al proporcionar datos detallados sobre las condiciones climáticas, las estaciones meteorológicas permiten a los agricultores optimizar todas las facetas de la producción agrícola, desde la siembra hasta la cosecha. Esto no solo mejora la productividad de los cultivos, sino que también reduce

los costos de producción al minimizar el uso de recursos y maximizar la eficiencia (Chattopadhyay et al,2021).

Las estaciones meteorológicas son una herramienta esencial para los agricultores, proporcionando datos críticos que ayudan a optimizar la gestión de recursos, proteger los cultivos de condiciones climáticas adversas y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas.

2.11 Paneles solares

El uso de la energía solar en la agricultura ofrece numerosos beneficios que van desde el ahorro de costos hasta la reducción del impacto ambiental. A continuación, se detallan los principales beneficios de implementar energía solar en la agricultura, basados en estudios recientes:

1. Ahorro de Costos y Aumento de la Rentabilidad

El uso de sistemas fotovoltaicos en la agricultura puede reducir significativamente los costos de energía. Los paneles solares proporcionan electricidad para diversas operaciones agrícolas, como el bombeo de agua para riego, el secado de cultivos y la calefacción de invernaderos. Este ahorro en costos de energía se traduce en una mayor rentabilidad para los agricultores (Rahoveanu, 2014).

2. Sostenibilidad y Reducción de Emisiones

La energía solar es una fuente de energía limpia y renovable que ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de combustibles fósiles. Su implementación en la agricultura contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles y a la preservación del medio ambiente (Fuentes et al 2021).

3. Independencia Energética y Fiabilidad

El uso de energía solar permite a los agricultores ser más autosuficientes en términos de energía, especialmente en áreas remotas donde el acceso a la red eléctrica es limitado. Los sistemas solares pueden proporcionar una fuente de energía confiable para operaciones críticas, asegurando la continuidad de las actividades agrícolas sin interrupciones (Soliman, 2016).

4. Versatilidad y Aplicaciones Diversas

La energía solar se puede utilizar en una variedad de aplicaciones agrícolas, desde el riego solar hasta el secado de productos agrícolas y la calefacción de invernaderos. Esta versatilidad permite a los agricultores aprovechar al máximo los recursos solares disponibles y optimizar diferentes aspectos de la producción agrícola (Boopathi, 2018, Mir et al., 2021).

5. Incremento de la Productividad y Eficiencia

La implementación de sistemas solares puede aumentar la productividad agrícola al proporcionar una fuente de energía constante y eficiente. Por ejemplo, los sistemas de riego solar aseguran un suministro continuo de agua, lo que es crucial para mantener la salud de los cultivos y maximizar los rendimientos (Kumar y Kumar, 2018).

6. Beneficios Económicos a Largo Plazo

Aunque la instalación inicial de sistemas solares puede requerir una inversión significativa, los beneficios económicos a largo plazo son sustanciales. Los agricultores pueden ver un retorno de inversión en un período relativamente corto debido al ahorro en costos de energía y la mejora de la eficiencia operativa. Además, los sistemas solares tienen una larga vida útil y requieren un mantenimiento mínimo (Silva et al., 2017).

7. Contribución al Desarrollo Rural

La energía solar puede impulsar el desarrollo rural al proporcionar una fuente de energía sostenible y accesible. Esto no solo mejora la calidad de vida de las comunidades rurales, sino que también crea oportunidades económicas a través de nuevas industrias y empleos relacionados con la instalación y el mantenimiento de sistemas solares (Dolli, 2015).

8. Integración con Tecnologías Avanzadas

La energía solar se puede integrar con tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de gestión inteligente para optimizar el uso de energía en las operaciones agrícolas. Esto incluye la monitorización en tiempo real y el control automatizado de los sistemas de riego y otros equipos agrícolas, lo que mejora aún más la eficiencia y la productividad (Kumar y Shimi, 2017).

La energía solar proporciona una solución eficiente, sostenible y económica para una amplia gama de aplicaciones en la agricultura, ayudando a los agricultores a mejorar su productividad, reducir costos y contribuir a la protección del medio ambiente.

2.12 Proyectos previos relevantes

Un sistema de conteo y reconocimiento basado en la visión para insectos voladores en la agricultura inteligente.

El conteo y reconocimiento rápido y preciso de insectos voladores es de gran importancia, especialmente para el control de plagas. La identificación y el conteo manual tradicionales de insectos voladores requieren mucha mano de obra y son ineficientes. En este estudio, se diseñó e implementó un sistema de conteo y clasificación basado en la

visión para insectos voladores. El sistema está construido de la siguiente manera: en primer lugar, se instala una trampa adhesiva amarilla en el área de vigilancia para atrapar insectos voladores y se instala una cámara para recopilar imágenes en tiempo real. A continuación, se diseñan el método de detección y recuento grueso basado en la detección de objetos You Only Look Once (YOLO), el método de clasificación y el recuento fino basado en máquinas de vectores de soporte (SVM) utilizando características globales. Por último, se implementa el sistema de conteo y reconocimiento de insectos en Raspberry PI. Se seleccionan seis especies de insectos voladores, entre ellos abejas, moscas, mosquitos, polillas, chafers y moscas de la fruta, para evaluar la eficacia del sistema.

En comparación con los métodos convencionales, los resultados de las pruebas muestran un rendimiento prometedor. La precisión media de recuento es del 92,50 % y la precisión media de clasificación es del 90,18 % en Raspberry PI. El sistema propuesto es fácil de usar y proporciona datos de reconocimiento eficientes y precisos, por lo tanto, se puede utilizar para aplicaciones de agricultura inteligente. (Zhong, 2018)

El Internet de las Cosas se une a la visión artificial para crear una red inteligente de monitoreo de plagas

En primer lugar, proponemos utilizar cámaras de bajo coste en el borde que capturen imágenes de las trampas de plagas y las envíen a la nube. En segundo lugar, utilizamos modelos neuronales profundos, en particular los modelos R-CNN y YOLO, para detectar la plaga de la mosca blanca (WF) en trampas adhesivas amarillas. Por último, se analiza el número previsto de WF a lo largo del tiempo y los resultados son accesibles para los agricultores a través de una aplicación móvil que les permite visualizar la plaga en cada campo específico. La contribución es hacer que el monitoreo de plagas sea autónomo, más barato, basado en

datos y preciso. Los resultados demuestran que, mediante la combinación de IoT, tecnología CV y modelos profundos, es posible mejorar el monitoreo de plagas. (Cardoso et al,2022)

Trampa automática laminar selectiva de luz actínica para la atracción de insectos

Se presenta un modelo de trampa de luz basada en paneles con láminas transparentes para la captura de insectos con fototaxismo positivo. El sistema de iluminación utiliza dos tipos de luz fluorescente actínica que cubren un alto rango del espectro ultravioleta. El diseño de la trampa permite seleccionar por grosor los especímenes que se desea penetren en su interior. Se dan instrucciones detalladas para su construcción. Se incluyen planos pormenorizados tridimensionales y bidimensionales del prototipo de cuarta generación que hemos denominado

'Trampa laminar'. El conjunto se puede utilizar para estudios de faunística y control biológico. (Magro, 2014)

Trampa de luz automáticas para caza de insectos

Resumen: Se analizan comparativamente, tras una breve revisión, los diferentes sistemas de caza de insectos con luz. Se estudian los distintos integrantes de las trampas de luz portátiles, considerando los motivos, objetivos y condicionantes de cada uno de los siguientes elementos:

— Sistemas de iluminación

Almacenaje de la energía eléctrica.

Métodos de recarga de las baterías.

— Convertidores de corriente continua a alterna.

Interruptor crepuscular automático.

— Métodos de paralización o muerte de los insectos.

— Conjunto de la trampa

Se señalan las soluciones óptimas para lograr la máxima eficacia con el menor peso, volumen y costo. Se muestran los correspondientes esquemas electrónicos alcanzados después de una larga experiencia. (Fernández,1992)

Insectos capturados en trampas de luz negra TDB-1107 en Padilla, Tamaulipas, México.

En Tamaulipas se han utilizado las redes entomológicas, trampas McPhail, amarillas y Malaise para coleccionar en huertas de cítricos. Los objetivos de este trabajo fueron coleccionar y determinar los órdenes y familias de los insectos capturados en trampas TDB-1107 en localidades del centro del estado. La investigación se realizó en el municipio de Padilla, Tamaulipas, durante agosto a noviembre de 2014, donde se colocaron 20 trampas en 5 ejidos con huertas de naranjas, mandarinas y toronjas.

El material está depositado en la colección personal de la autora principal en Cd. Victoria, Tamaulipas. Se obtuvieron 5436 especímenes de 13 órdenes y 41 familias de insectos. Coleóptera fue el orden más coleccionado, seguido por Lepidóptera. Éste es el primer reporte del uso de las trampas TDB-1107 para coleccionar de insectos en México, obteniendo una buena representación de la diversidad de la entomofauna nocturna en huertas cítricas del centro de Tamaulipas. (Castillo, 2015).

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

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. (Atencio., V. 2022)

III. OBJETIVOS.

3.1.- General.

Evaluar la efectividad luces ultravioleta como medio de monitoreo y control de plagas asociadas al cultivo del aguacate (PERSEA AMERICANA MILL)

3.2.- Particulares.

1.- Evaluar la luz negra y la luz LED (UV) para determinar cuál es más efectiva en la atracción de plagas asociadas al cultivo del aguacate.

2.-Diseñar y construir trampas inteligentes equipadas con luces UV seleccionadas para el monitoreo y control de plagas en huertos de aguacate.

3.- Implementar las trampas en diferentes áreas de cultivo de aguacate y comparar la eficacia de las luces UV en la captura de plagas.

IV.- HIPOTESIS.

El desarrollo de un dispositivo inteligente que utilice luces LED y energía solar para el monitoreo y control de plagas asociadas al cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill) será efectivo para atraer y capturar insectos plaga de manera más eficiente que los métodos tradicionales, permitiendo una reducción significativa en el uso de insecticidas químicos y promoviendo una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización del experimento.

La presente investigación se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Tlajomulco, localizado en la localidad de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco cuyas coordenadas son: latitud 20 26' 33.8" N longitud 103 025 '17.5 W y altitud 1575 m.

Figura 1 Ubicación del área experimental.



5.2 Materiales utilizados

Para la elaboración del prototipo se utilizaron los siguientes materiales:

Gabinete de acero IP 66 para exteriores 30x40x20

2 cajas Caja Nema Gabinete ABS Exteriores Ip65 22 X 15

2 paneles solares de 25 watts

1 panel solar de 50 watts

1 Minicomputadora Raspberry pi 4 8G RAM

1 micro Micro SD 32G

1 pinza amperimétrica

1 Mifi modem internet

8 conectores XT60 hembra

8 conectores XT60 macho

2 cámaras Esp32Cam

1 estación meteorológica

3 controladores de energía solar

1 impresora 3d

1 soldadora de puntos

2 cajas para el almacenamiento de baterías

2 controladores de baterías BMS

42 baterías 18650

1 cautín

Cable categoría 12

1 cable UTP

3 conectores tipo MC-4 machos

3 conectores tipo MC-4 hembra

1 modulo esp32 38 pines

1 batería sellada recargable 12 v 18 amperios

1 módulo de control relé

1 fotocelda

1 Fuente alimentación regulable de 300 watts

1 rollo de níquel puro

1Tubo termo fil

1 rollo de soldadura 60/40

1 multímetro

1 multímetro digital USB

1 lampara led UV 380 nanómetros

1 lampara de luz negra

3 conectores 12v a 5v USB

3 fusibles 10 amperios

1 sensor de humedad suelo

1pinza ponchado de cable

1 antena wifi 5dbi

2 cajas para cámara esp 32 impresas en ABS

1 modulo adaptador de 38 pines con sujetadores de cable

3 recipientes de 20 litros adaptados

2 cables USB tipo c

2 cables USB tipo V8

1 lentes especializados para protección Uv

1 computadora software

5.3 Elaboración de prototipo

5.3.1 Elaboración de la estación de control

Para la elaboración del primer prototipo se hizo bajo una caja Gabinete de acero IP 66 para exteriores 30x40x20 que cuenta con protección para la intemperie, polvo y agua como base para el almacenamiento de equipo electrónico (Figura 2) Se usó un controlador de energía para controlar la salida energética del panel solar de 50 watts con una capacidad de control de corriente de 30 amperios los cuales son superiores a los requerimientos del sistema y generados por el panel

Se instaló en el Gabinete de acero una Mini computadora Raspberry pi 4 8G RAM con una memoria capacidad 128GB con una instalación de bloques (Figura 3) mediante el sistema de contenedores Docker la cual cada instalación crea una partición que permite instalar distintos tipos de software con todos los requerimientos separados para ser empleados en el control de Los dispositivos pudiendo conforme se necesiten poner más módulos para distintas tareas a realizar, y poder tener escalabilidad cada módulo está separado de los demás puede migrarse a otras instalaciones para contar con todas las librerías necesarias para su funcionamiento entre sus ventajas esta que en el fallo de uno de los módulos los demás seguirán funcionando y puede ser respaldado con facilidad.



Figura 2 Estación de control.



Figura 3 Raspberry pi.

5.3.2 Estación meteorológica

Dentro del gabinete se instaló también la pantalla de control de la estación meteorológica una pantalla de 8 pulgadas que recibe las señales de radio que transmite la estación meteorológica la cual nos transmite:

Temperatura: Medición de la temperatura exterior e interior.

Humedad: Medición de la humedad exterior e interior.

Presión Barométrica: Medición de la presión atmosférica.

Velocidad del Viento: Registro de la velocidad del viento.

Dirección del Viento: Registro de la dirección del viento.

Precipitación: Medición de la cantidad de lluvia.

Índice UV: Medición del índice de radiación ultravioleta.

Radiación Solar: Medición de la radiación solar.

La instalación meteorológica corresponde a una Sainlogic la cual fue integrada a nuestro sistema de control para integrar todos los datos de su lectura para su comunicación se creó un enlace por software, la estación se muestra en la (Figura 4)



Figura 4 Estación meteorológica.

Para el control de energía y conversión de 12 voltios a 5 voltios se usó un interruptor para auto con conexión de cenicero y un cargador para auto de 5 voltios para suministrar los voltajes a los distintos componentes que trabajan a 5v. Se uso una batería AGM de 18v para este sistema.

5.3.3 Elaboración de las trampas

Para la base de las trampas se recortaron bulingas de 20 litros con una superficie de corte aproximada de 30x30 en 3 de los lados para permitir irradiar las luces led y la lampara de luz negra con mayor visión para los insectos.

Cada trampa está equipada con un panel solar de 25 watts las cuales cuentan con un controlador de carga solar independientes para controlar el voltaje subministrado a las baterías y los componentes eléctricos (Figura 5).



Figura 5 Trampa 2.

5.3.4 Cámaras

Los dispositivos les fue implementada una cámara esp32cam que son baratas muy personalizables ya que no traen software fue implementado de acuerdo a las necesidades del proyecto, de muy bajo consumo energético a las cuales se les puede instalar otros tipos de dispositivos como sensores, circuitos electrónicos para programar tareas leer y procesar datos junto con las imágenes cuentan con tarjeta inalámbrica para poder conectarse a internet las cuales fueron programadas y enlazadas a la raspberry pi para la transmisión de imágenes de manera inalámbrica figura 6.



Figura 6 Cámara esp32cam.

5.3.5 Implementación de Internet

Se implemento un router de bajo consumo 400 mAh en promedio para poder subministrar internet a los dispositivos y a la estación de control Se abrieron puertos al router y se asignó una dirección ip fija para poder acceder fuera de la red local inalámbrica, lo que nos permite el acceso al sistema de cualquier parte con conexión a internet desde computadora o celular.

5.3.6 Elaboración de las baterías

Cada trampa cuenta con una batería independiente la cual construí con 21 baterías 18650 de 3400 mah cada una que consta del ensamble de 3 en serie 7 series en paralelo la cual se determinó de acuerdo a:

Voltaje por celda completamente cargada: 4.2V

En una conexión en serie, el voltaje total se obtiene sumando los voltajes de cada batería.

Voltaje de una batería: 4.2 V

Voltaje total (3S): $3 * 4.2 \text{ V} = 12.6 \text{ V}$

Amperaje total:

En una conexión en paralelo, la capacidad de corriente se suma.

Capacidad de corriente de una batería: 3400 mAh

Capacidad de corriente total (7P): $7 * 3400 \text{ mAh} = 23800 \text{ mAh}$

Se implemento un soporte en plástico para las baterías luego se aplicó tiras de níquel y se soldaron con una soldadora de puntos se integró un BMS para el control de carga descarga y protección energética de las baterías se soldaron las salidas con estaño y se montaron en una caja plástica la cual contaba con salidas USB.



Figura 7 Batería 18650.

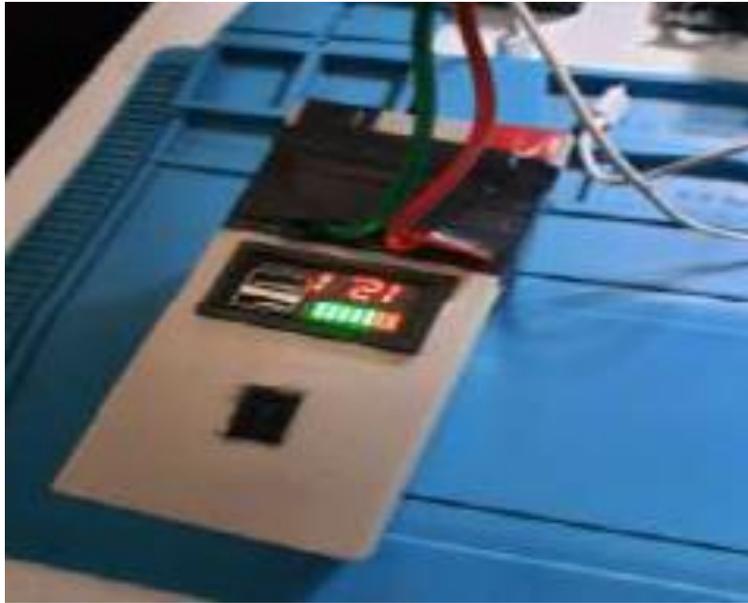


Figura 8 Batería terminada.

5.3.7 Impresión 3D

Se imprimo un modelo en 3D para la protección de las cámaras con filamento de 1.75 mm en PLA mediante un software de diseño ultimaker cura la cual funciona como soporte, protección y montaje de las cámaras.



Figura 9 Impresión 3D de caja cámara.



Figura 10 Impresión caja cámara.

5.4 Selección del cultivo e implementación en campo

La implementación del prototipo Se llevo a cabo en la huerta soledad a campo abierto, en el cultivo de aguacate (Persea Americana Mill) de 5 años con un marco de plantación de 7x 3.5 metros con 408 árboles por hectárea regada por microaspersión, Tuxpan, Jalisco

Figura 11 Huerta, fuente Google Maps.



5.4.1 Instalación de las trampas en campo

Se instalaron 3 trampas Trampa 1 corresponde a la fuente de iluminación con la lampara de luz negra, la trampa 2 correspondiente a la luz led ultravioleta con una frecuencia de longitud de onda de 380 nanómetros, se instaló una tercera trampa como testigo la cual no cuenta con ninguna fuente de luz ni dispositivo electrónico.

Todas las trampas fueron ubicadas a la misma distancia de separación lo cual no interfiere en el estudio, fueron ubicadas a una altura de 2.5 metros para poder estar fuera del rango de obstrucción de los árboles cercanos de aguacate.



Figura 12 Instalación de trampa 1 en campo.

5.4.2 Mediciones

Para las mediciones se hacían la captura, posteriormente se comprobaba el funcionamiento de los paneles, la batería, se revisaba los niveles de agua y se limpiaban las trampas, se revisaba polvo o cualquier obstrucción en los paneles para que durante el estudio funcionaran de manera óptima.

Se tomaron mediciones 7 días consecutivos para que fuera representativo para el estudio.

Medición 1

A continuación, se muestra la medición 1



Figura 13 Medición Trampa 1.

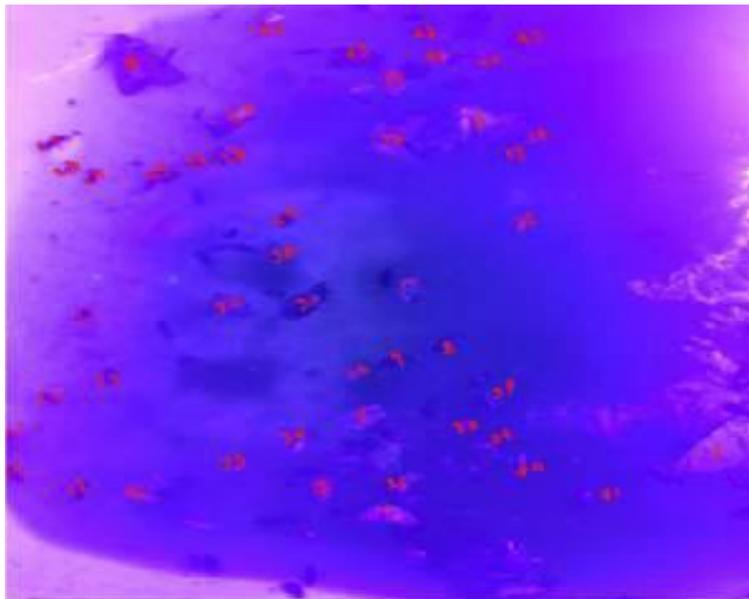


Figura 14 Medición Trampa 2.



Figura 15 Medición 1 testigo.

Medición 2

A continuación, se muestra la medición 2



Figura 16 Medición 2 trampa 1.



Figura 17 Medición 2 trampa 2.



Figura 18 Medición 2 testigo.

Medición 3

A continuación, se muestran las mediciones



Figura 19 Medición 3 trampa 1.



Figura 20 Medición 3 trampa 2.



Figura 21 Medición 3 testigo.

Medición 4

A continuación, se muestra las mediciones correspondientes



Figura 22 Medición 4 trampa 1.



Figura 23 Medición 4 trampa 2.



Figura 24 Medición 4, testigo.

Medición 5

A continuación, se muestra las mediciones correspondientes



Figura 25 Medición 5 trampa 1.



Figura 26 Medición 5 trampa 1.



Figura 27 Medición 5, testigo.

Medición 6

A continuación, se muestra las mediciones correspondientes



Figura 28 Medición 6 trampa 1.



Figura 29 Medición 6 trampa 2.



Figura 30 Medición 6, testigo.

Medición 7

A continuación, se muestra la tabla con las mediciones correspondientes



Figura 31 Medición 7 trampa 1.



Figura 32 Medición 7 trampa 2.



Figura 33 Medición 7, testigo.

5.6 Variable de estudio

La variable de estudio fue la eficiencia en la captura de insectos capturados mediante las trampas.

5.7 Tratamientos evaluados

Cuadro 5 Tratamientos evaluados.

Bloque	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Testigo
Bloque 1	x		
Bloque 2		x	
Bloque 3			x
Bloque 4			
Bloque 5			
Bloque 6			
Bloque 7			

Bloques: Días de medición

Tratamientos: Trampas (Trampa 1, Trampa 2, Testigo)

Variable de respuesta: Número de insectos capturados

Tabla de capturas

Cuadro 6 Tratamientos evaluados.

Bloque	Trampa 1	Trampa 2	Testigo
Medición 1	57	42	1
Medición 2	17	47	0
Medición 3	26	24	0
Medición 4	17	33	0
Medición 5	13	81	1
Medición 6	25	45	0
Medición 7	36	78	0

5.8 Diseño experimental

Diseño Experimental: Diseño de Bloques Completamente al azar (DBCA)

Los datos experimentales se consideraron como un bloque completamente al azar

y para su análisis estadístico se empleó el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

μ = Parámetro, efecto medio

T_i = Parámetro, efecto del tratamiento

β_j = Parámetro, efecto del bloque j

ε_{ij} = Valor aleatorio, error experimental de la unidad experimental ij

Y_{ij} = Observación en la unidad experimental

5.9 Análisis estadístico

Para el análisis de las variables cuantitativas, se utilizó el software estadístico SAS.

Este programa permite ingresar los datos obtenidos y realizar un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia de las diferencias entre los grupos.

Si los resultados del ANOVA indican la existencia de una diferencia mínima significativa, se procede a realizar una comparación de medias mediante la prueba de Tukey, la cual identifica cuáles medias específicas difieren entre sí. Esta prueba se lleva a cabo con un nivel de confianza del 95%, lo que significa que hay un 95% de probabilidad de que los intervalos de confianza calculados contengan la verdadera diferencia de medias. Además, SAS ofrece herramientas para visualizar los resultados, como gráficos de barras y diagramas de caja, lo que facilita la interpretación y comunicación de los hallazgos del análisis. Esta metodología es crucial para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados en estudios experimentales.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

6.1 Análisis de varianza para captura de insectos.

Tabla 1 Procedimiento de ANOVA para la variable captura de insectos en trampas en el cultivo de Aguacate.

MS24, 21:17

Results: Program 1

Análisis de Varianza para Capturas de Insectos
Procedimiento GLM

Información del nivel de clase		
Clase	Niveles	Valores
Bloque	7	1 2 3 4 5 6 7
Trampa	3	Trampa1 Trampa2

N.º observaciones leídas	21
Número de observaciones usadas	21

Análisis de Varianza para Capturas de Insectos
Procedimiento GLM
Variable dependiente: Capturas

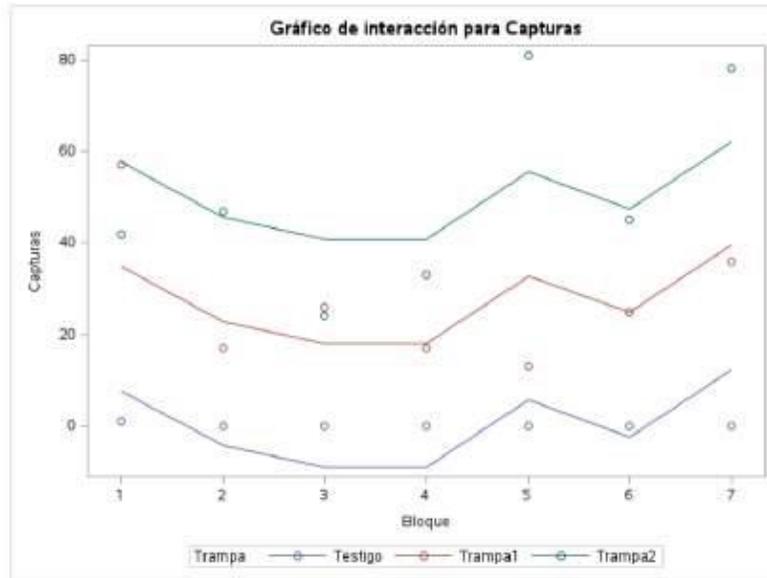
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	8	10010.15048	1251.27381	5.17	0.0057
Error	12	2903.04762	241.92063		
Total corregido	20	12913.23810			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de Capturas
0.775188	60.26379	15.55360	25.80952

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	6	1287.238095	214.539663	0.89	0.5335
Trampa	2	8722.952381	4361.476190	18.03	0.0002

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Bloque	6	1287.238095	214.539663	0.89	0.5335
Trampa	2	8722.952381	4361.476190	18.03	0.0002

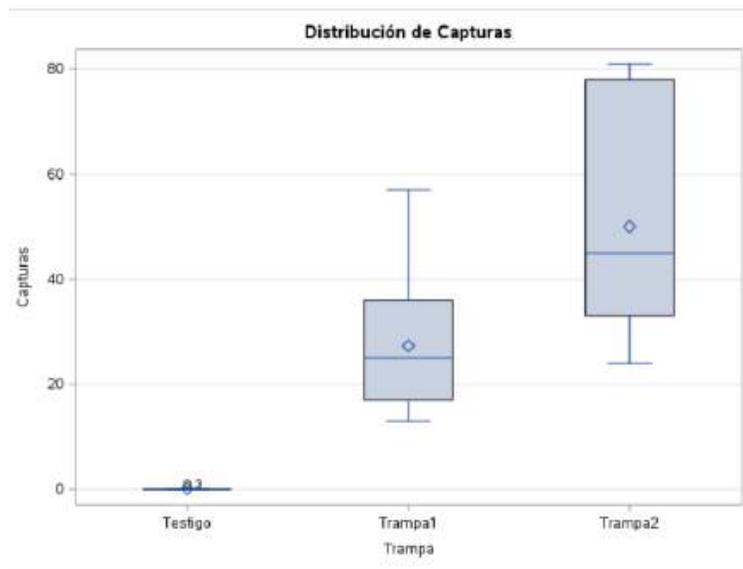
Resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado con el procedimiento GLM (General Linear Model) nos proporciona datos que indican que el modelo general es significativo los bloques no tienen un efecto significativo en el número de insectos capturados, sin embargo, las trampas si lo tienen, el R cuadrado nos indica que hay un 77.52% de la viabilidad en las capturas de insectos.



Análisis de Varianza para Capturas de Insectos

Grafica 1 Interacción en el rendimiento de capturas.

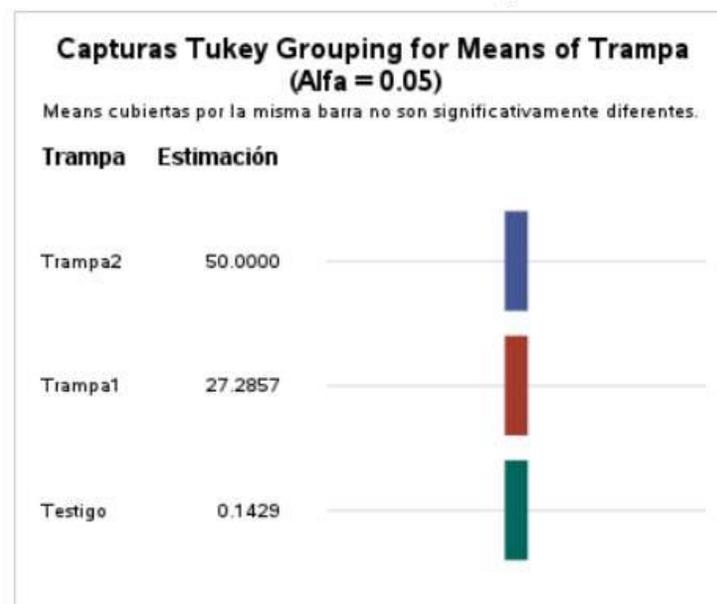
En la siguiente grafica ya podemos observar el rendimiento de capturas entre las dos trampas y el testigo.



Grafica 2 Distribución de capturas.

En el siguiente grafico podemos observar que la trampa 2 correspondiente a la fuente de luz Ultravioleta de 380 nanómetros fue más efectiva en la captura de insectos, mientras que la trampa 2 correspondiente a la luz negra fue inferior en sus capturas mientras el testigo no fue relevante ya que no tuvo cambios significativos en el estudio.

Tabla 2 Procedimiento de Tukey para la variable captura de insectos en trampas en el cultivo de Aguacate.



En el procedimiento de Tukey nos indica que todas las trampas difieren significativamente entre sí en términos de capturas de insectos, las de relevancia trampa 1 y 2 nos muestra que diferencia de medias es superior a la diferencia mínima significativa siendo relevante. Trampa 2 es la más efectiva, seguida de Trampa 1, y el Testigo es el menos efectivo.

VII. CONCLUSIONES.

En conclusión, el desarrollo e implementación de un dispositivo inteligente con LEDs y energía solar para el monitoreo y control de plagas asociadas al cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill) fue exitoso. El objetivo principal de evaluar la efectividad de las luces ultravioleta como medio de monitoreo y control de plagas se cumplió, destacándose que la luz UV de 32 LEDs de la trampa dos demostró ser más efectiva para atraer insectos.

Aunque la eficiencia energética no fue el foco principal del estudio, se observó que este tipo de luz posee una mayor eficiencia, lo que la hace más adecuada para su instalación en campo.

Asimismo, el objetivo de construir e implementar el dispositivo en campo también se logró satisfactoriamente, lo que sugiere que este sistema podría ser una herramienta viable y eficiente para la gestión de plagas en cultivos de aguacate.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Atencio, R., & Cruz, E. (2022). Situación actual de la aplicación y potenciales usos de la visión artificial en la entomología agrícola en Panamá. *Situación*, 50, 2219-6714.
- Baiza Avilar, V. (2003). *Guía Técnica del cultivo del Aguacate*. Nueva San Salvador: Maya. Pp. 5-6
- Boopathi, P. (2018). The Application of Solar Energy in Agricultural Systems. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(1), 63-67. <https://dx.doi.org/10.31142/ijtsrd19019>
- Caballero, A.R.J. 2007. *La producción de aguacate en Michoacán*. Morelia, Mich.pp. 2-13.
- Cardoso, B., Silva, C., Costa, J., & Ribeiro, B. (2022). Internet of things meets computer vision to make an intelligent pest monitoring network. *Applied Sciences*, 12(18), 9397.
- Cardoso, P., Erwin, T. L., Borges, P. A., & New, T. R. (2011). Los siete impedimentos en la conservación de los invertebrados y cómo superarlos. *Conservación biológica*.
- Castillo-Flores, P. M., López-Hernández, R. O., & Martínez-Sánchez, I. (2015). Insectos capturados en trampas de luz negra TDB-1107 en la pandilla, Tamaulipas, México. *27 encuentro nacional de investigación científica y tecnológica del Golfo de México*, 36.
- Chattopadhyay, N., Ghosh, K., & Chandras, S. V. (2021). *Agrometeorological advisory to assist the farmers in meeting*

the challenges of extreme weather events. *Mausam*, 67(1), 277-288.

Chattopadhyay, N., Ghosh, K., & Chandras, S. V. (2021). Agrometeorological advisory to assist the farmers in meeting the challenges of extreme weather events. *Mausam*,

Chen, F., Zheng, J., Ma, H., Zhang, W., Fan, L., Zhang, F., ... & Liu, W. (2023). Pulsed lighting LED luminaire for agriculture with a geometrical optical solution. *Optics Express*, 31(4), 5609-5624.

Desjonquères, C., Rybak, F., Ulloa, J. S., Kempf, A., Bar Hen, A., & Sueur, J. (2020). Monitoring the acoustic activity of an aquatic insect population in relation to temperature, vegetation and noise. *Freshwater Biology*.

Dolli, M. (2015). Socio-economic benefits of solar energy. *International Journal of Environmental Studies*, 72(5), 765-773

Fernández-Rubio, F. (1992). Las trampas de luz automáticas para caza de insectos. *Rev. Aragón. Ent.*, 1(2), 79-90.

Financiera Rural 2009. Monografía aguacate. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial

Fuentes, R., Rojas, D., Rivera, M., Riveros, J., Muñoz, J., & Wheeler, P. (2021). Solar energy in the agrifood industry. In 2021 IEEE Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON) (pp. 1-6). IEEE. <https://dx.doi.org/10.1109/CHILECON54041.2021.9702972>

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5079/T18753%20HERNANDEZ%20PEREZ,%20ANSELMO%20%20OTESIS.pdf?sequence=1>

- Jiuxuan, Z., Rui, X., Zhen, C., Yongchao, J., & Kaifan, X. (2015). Phototactic behavior of *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky (Coleoptera: Coccinellidae). *The Coleopterists Bulletin*, 69(4), 806-812.
- Kamei, M., Jikumaru, S., Hoshino, S., Ishikura, S., & Wada, M. (2021). Effects of replacing outdoor lighting with white LEDs with different correlated color temperatures on the attraction of nocturnal insects. *Applied Entomology and Zoology*, 56(3), 441-451.
- Kim, K. N., Song, H. S., Choe, R. J., Huang, Z. J., Huang, Q. Y., & Lei, C. L. (2019). Phototactic response of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae), to light-emitting diode Lights of different wavelengths.
- Kim, K. N., Song, H. S., Choe, R. J., Huang, Z. J., Huang, Q. Y., & Lei, C. L. (2019). Phototactic response of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae), to light-emitting diode Lights of different wavelengths.
- Kumar, N., & Shimi, S. L. (2017). Low Cost Solar Powered Smart Management System for Indian Farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(2), 157-165.
- Kumar, R., & Kumar, S. (2018). Estimation of Solar Power Requirements for Irrigated Crops in Pusa. *Journal of Solar Energy Engineering*, 140(5), 051003.
- Lage, A., & Correa, J. C. (2015, October). Weather station with cellular communication network. In 2015 XVI workshop on information processing and control (RPIC) (pp. 1-5). IEEE.

- Lamarre, G. P. A., Fayle, T. M., Segar, S. T., Laird-Hopkins, B., Nakamura, A., Souto-Vilarós, D., Watanabe, S., & Basset, Y. (2020). Monitoring tropical insects in the 21st century.
- Luke, L. (2017). Quantifying responses of aquatic insects to environmental change.
- Magro, R. (2014). Trampa automática laminar selectiva de luz actínica para la atracción de insectos. *Boletín de la SEA*, (54), 443-458.
- Martín, B., Pérez, H., & Ferrer, M. (2021). Light-Emitting Diodes (LED): A promising Street light system to reduce the attraction to light of insects. *Diversity*, 13(2), 89.
- Nájera, C., Gallegos-Cedillo, V. M., Ros, M., & Pascual, J. A. (2022, April). LED lighting in vertical farming systems enhances bioactive compounds and productivity of vegetables crops. In *Biology and Life Sciences Forum* (Vol. 16, No. 1, p. 24). MDPI.
- Nguyen, T. M. H. N., Suwan, P., Koottatep, T., & Beck, S. E. (2019). Application of a novel, continuous-feeding ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system to disinfect domestic wastewater for discharge or agricultural reuse.
- Nguyen, T. P., Tran, H. T., & Le, Q. H. (2019). Ultraviolet disinfection in water treatment: Effectiveness and applications. *Water Research*.
- Nwosu, L. C., & Nwosu, L. K. (2012). Influence of type of electric bright light on the attraction of the African giant water bug, *Lethocerus indicus* (Hemiptera: Belostomatidae). *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012(1), 387619.

- Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2012). Ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice. *Journal of Food Research*, 1(2), 60.
- Pavlovskii, I., Hayashi, M., & Itenfisu, D. (2018). Effects of midwinter snowmelt on runoff generation and groundwater recharge in the Canadian prairies. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss*. <https://doi.org/10.5194/hess-2018-423>.
- Prasad, S. A., Vijayashanthi, V. A., Manimekalai, R., Yogameenakshi, P., & Pirathap, P. (2020). Impact assessment on knowledge of weather based agro-advisory services among farmers in Tiruvallur district, Tamil Nadu. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(36), 96-101.
- Rahoveanu, A. T. (2014). The role of renewable energy in agricultural development. *Agricultural Economics and Rural Development*, 11(2), 99-110.
- Sanchez G. P. Y P. Ramirez M. 2000.fertilizacion y nutrición del aguacatero. En: el aguacate y su manejo integrado. D. Teliz (ed.). Ed. Mundiprensa. Mexico, D.F pp 103-113
- Savchenko, V. K. (2008). Size and organization of species genomes. *Vestsi Natsyyanal'naj Akadehmii Navuk Belarusi. Seryya Bialagichnykh Navuk*.
- Silva, F. V. P., Feitosa, H. O., Pereira, C. F., Silva, J. A. S., & Feitosa, E. D. O. (2017). Potencial de energia solar para a irrigação no município de Barbalha-CE. *Energía na Agricultura*, 32(1), 57-64. <https://dx.doi.org/10.17224/ENERGAGRIC.2017V32N1P57-64>

Singh, D. K., Jerath, H., & Raja, P. (2020, January). Low cost IoT enabled weather station. In 2020 International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management

Singh, D. K., Jerath, H., & Raja, P. (2020, January). Low cost IoT enabled weather station. In 2020 International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM) (pp. 31-37). IEEE.

Soliman, F. (2016). Agriculture in Remote Areas Based on Solar Energy. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 12(3), 276-285.

Szanyi, K., Nagy, A., Varga, Z., Potish, L., & Szanyi, S. (2022). Attractivity of various artificial light sources to caddisfly (Trichoptera) species and its importance in their sampling and conservation. *Journal of Insect Conservation*, 26(4), 547-560.

Zhong, Y., Gao, J., Lei, Q., & Zhou, Y. (2018). A vision-based counting and Recognition system for flying insects in intelligent agriculture. *Sensors*, 18(5), 1489.

IX. ANEXOS.



Anexo 1 Evaluación de rendimiento de paneles.



Anexo 2 Elaboración de las cajas para trampas.



Anexo 3 Pruebas de estación de control.



Anexo 4 Implementación en campo.



Anexo 5 Acoplado.



Anexo 6 Instalacion trampa 1.



Anexo 7 Instalación trampa 2.



Anexo 8 Funcionamiento en campo.



Anexo 9 Captura.