



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO DE APLICACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE PLANTAS
CON ANOMALÍAS EN CULTIVOS DE PIMIENTOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

TUTOR: Nino Tello Vega Ureta

Guayaquil - Ecuador

2024

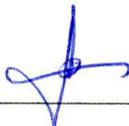
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jorge Ricardo Campoverde Corrales** con documento de identificación N° **0958621450** manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 04 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Jorge Ricardo Campoverde Corrales
0958621450

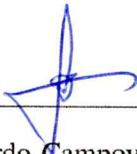
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **Jorge Ricardo Campoverde Corrales** con documento de identificación N° **0958621450** expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del **Dispositivo Tecnológico: APLICACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE PLANTAS CON ANOMALÍAS EN CULTIVOS DE PIMIENTOS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Jorge Ricardo Campoverde Corrales
0958621450

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Nino Tello Vega Ureta**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **APLICACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE PLANTAS CON ANOMALÍAS EN CULTIVOS DE PIMIENTOS**, realizado por **Jorge Ricardo Campoverde Corrales** con documento de identificación N° **0958621450** obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Nino Tello Vega Ureta
0801602160

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Lucy y Jorge, por su amor incondicional y su apoyo constante. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y la integridad. Este logro es tanto suyo como mío, y no podría haberlo alcanzado sin su guía y sacrificio.

A mi hermana, Lizzette, por ser mi fuente de inspiración y por estar siempre a mi lado, su cariño, ánimo y confianza en mí han sido fundamentales en cada paso de este camino, gracias por compartir conmigo tanto los momentos de alegría como los desafíos

A mis abuelos Lucía Mori y Jorge Campoverde, cuyo amor y sabiduría han sido una guía invaluable en mi vida, gracias por ser un pilar de fortaleza y por enseñarme a enfrentar los desafíos con valentía y optimismo, sus consejos siempre estarán presentes en mi corazón y en cada decisión que tome.

Jorge Ricardo Campoverde Corrales

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido a la realización de esta tesis y a mi formación académica.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi tutor, el Ing. Nino Vega, por su guía, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de este proyecto, su experiencia y consejos han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A mis profesores, quienes con su dedicación y conocimiento me han brindado las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos académicos y profesionales, gracias por compartir su sabiduría y por inspirarme a dar siempre lo mejor de mí.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por proporcionarme un entorno educativo de excelencia, donde he podido crecer tanto personal como profesionalmente, agradezco a todos los miembros de esta institución por su compromiso con la educación y por fomentar un ambiente de aprendizaje y desarrollo integral.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su apoyo constante y por creer en mí, este logro es también de ustedes.

Jorge Ricardo Campoverde Corrales

RESUMEN

Debido al clima y las condiciones meteorológicas que nos encontramos en la costa la hacen ideal para que las plantaciones de pimiento sean propensas a enfermarse de Tizón, enfermedad con un impacto severo en los cultivos, el excesivo uso de los abonos, como las condiciones en que se encuentra el terreno, además del abuso de los tratamientos químicos produce que se expanda la enfermedad del oídio, disminuyendo la disponibilidad de alimentos en la producción agrícola.

Es evidente la necesidad de utilizar las nuevas tecnologías como ayuda complementaria en la detección oportuna, rápida y eficaz de anomalías en planta de pimientos que permita a los agricultores tener la reacción oportuna que permita detener el avance y con ello neutralizar un posible problema de grandes consecuencias.

Entre las nuevas tecnologías encontramos la utilización de transmisión de datos mediante redes inalámbricas y software que permita el tratamiento de imágenes digitales que diferencien entre su base de datos hojas con anomalías y mediante notificaciones poder informar del acontecimiento detectado.

Palabras claves: sistemas de control, inteligencia artificial, sistema, cultivo, agricultura, plagas, Arduino Uno.

ABSTRACT

Due to the climate and weather conditions that we find on the coast, it is ideal for pepper plantations to be prone to getting sick from blight, a disease with a severe impact on crops. The excessive use of fertilizers, as well as the conditions in which the land is found, in addition to the abuse of chemical treatments causes the spread of powdery mildew, decreasing the availability of food in agricultural production.

It is evident that new technologies need to be used as a complementary aid in the timely, rapid and effective detection of anomalies in pepper plants that allows farmers to have the timely reaction that allows them to stop the advance and thus neutralize a possible problem of great consequences.

Among the new technologies we find the use of data transmission through wireless networks and software that allows the processing of digital images that differentiate between their database of leaves with anomalies and through notifications to be able to report the detected event.

Keywords: control systems, artificial intelligence, system, crop, agriculture, pests, Arduino Uno.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
IV-A.	Objetivo general	4
IV-B.	Objetivos específicos	4
V.	Fundamentos Teóricos	5
V-A.	Antecedentes investigativos	5
V-B.	Agricultura	6
V-B1.	Factores para considerar durante el proceso agrícola	6
V-B2.	Factores abióticos por considerar	6
V-B3.	Factores bióticos en los cultivos	6
V-B4.	Clasificación de los factores bióticos	7
V-C.	EL PIMIENTO (CAPSICUM ANNUUM)	8
V-C1.	Características botánicas de la planta	8
V-C2.	Ciclo de vida del pimiento	9
V-C3.	Requerimientos agroecológicos de la planta de pimiento	10
V-C4.	Suelo	10
V-C5.	Clima	10
V-C6.	Nutrición	10
V-C7.	Manejo del Cultivo	11
V-C8.	Plagas y enfermedades más comunes en plantas de pimientos	11
V-C9.	Mosca Blanca	11
V-C10.	Oídio	12
V-C11.	Tizón	13
V-D.	PLATAFORMA PARA EL DESARROLLO ELECTRÓNICO ESP 32-CAM	14
V-E.	Arduino	15
V-E1.	Características de Arduino	16
V-F.	Lenguajes de programación	18
V-F1.	Python	18
V-F2.	Desarrollo de software	19
V-F3.	Análisis de datos	19
V-G.	RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES	19
V-G1.	Precisión de un modelo de reconocimiento	20
V-G2.	Redes neuronales convolucionales	22
V-G3.	Yolo	23
V-G4.	Cómo se entrena un modelo con Yolo	24
V-H.	VISIÓN POR COMPUTADORA	24
V-H1.	¿Qué es Roboflow?	25
V-H2.	Proceso en Roboflow	26
V-H3.	Que son Dataset	26
V-H4.	Usos de los Datasets	26
V-I.	Bases de datos	26

VI. Marco Metodológico	27
VI-A. Modelo de investigación	27
VI-B. Sujetos de estudio	28
VI-C. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
VI-D. Análisis de los datos	28
VI-E. Desarrollo del sistema Mecánico	29
VI-E1. Diseño del Chasis del Robot agrícola	30
VI-E2. Materiales para el armado del Chasis Robot agrícola	30
VI-E3. Integración de los Motores y Ruedas	31
VI-E4. Estructura y distribución de los componentes del Robot	32
VI-F. Pruebas del Sistema Mecánico	33
VI-F1. Prueba de Movilidad en Terrenos Irregulares	33
VI-F2. Prueba de Resistencia de los Motores	33
VI-F3. Prueba de tiempo de operación del robot	34
VI-G. Desarrollo del sistema electrónico	34
VI-G1. Cálculo total del consumo energético	35
VI-G2. Desarrollo del sistema Control en el Robot agrícola	36
VI-G3. Proceso de vinculación y transmisión de datos	39
VI-H. Control de movimiento de los motores	40
VI-I. Procesamiento y resolución de imagen	43
VI-J. Implementación del sistema eléctrico	46
VI-J1. Implementación del sistema de control	47
VI-J2. Implementación del sistema de comunicación Bluetooth	48
VI-J3. Implementación del sistema de control de los motores del Robot	49
VI-J4. Implementación de control de velocidad de los motores	50
VI-J5. Transmisión de imagen en el sistema de comunicación	51
VI-K. Prueba de componentes del Robot	51
VI-K1. Prueba de componentes del Robot	51
VI-K2. Pruebas de Comunicación entre el Robot y el módulo Bluetooth	54
VI-K3. Pruebas de Transmisión y calidad de imagen de la cámara	55
VI-L. Desarrollo de Software de Control	56
VI-L1. Software de control del movimiento	57
VI-L2. Software de transmisión de imágenes	58
VI-L3. Programación y Configuración de la IP del ESP32-CAM	58
VII. Resultados de la detección de anomalías	60
VII-A. Tablas de validación	60
VIII. Conclusiones	62
IX. Recomendaciones	62
Referencias	63
X. Anexos	64
Anexo 1. Encuesta sobre Anomalías en Plantas de Pimientos y Uso de Software de Reconocimiento .	64
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 1	66
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 2	66
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 3	67
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 4	68
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 5	68

Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 6	69
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 7	70
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 8	70
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 9	71
Anexo 2. Tabulación de la encuesta. Pregunta 10	72

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Detección de anomalías en cultivos.	5
2.	Avance de la agricultura a través del tiempo.	6
3.	Clases de factores bióticos	7
4.	Tipos de pimientos	8
5.	Ciclo de vida del pimiento	9
6.	Técnica Mulching	11
7.	Mosca blanca	12
8.	Enfermedad oídio	13
9.	Enfermedad Tizón	13
10.	Tarjeta ESP CAM 32	14
11.	Puerto de la tarjeta ESP CAM 32	15
12.	Tarjeta Arduino	15
13.	Microcontrolador (ATmega328p)	17
14.	Código de programación	18
15.	Código de programación Python	18
16.	Reconocimiento de objetos	20
17.	Promedio de precisión media (mAP)	21
18.	Red convolucional CNN	22
19.	Yolov8	23
20.	Detección de objetos mediante LabelImg	24
21.	Plataforma Roboflow	25
22.	Smart CAR 4WD	29
23.	Chasis del robot	30
24.	Materiales del Chasis Robot Agrícolas	30
25.	Distribución de los motores	31
26.	Distribución de los componentes	32
27.	Robot en Superficie irregular	33
28.	Funcionamiento continuo de los motores	34
29.	Desempeño del robot en el campo	34
30.	Esquemático del robot	35
31.	Entorno Arduino IDE	37
32.	Interacción de los Pines UART con el módulo bluetooth	38
33.	Conexión del Arduino uno al L298 Motor Drive	38
34.	Comunicación inalámbrica entre el módulo Bluetooth y el teléfono	39
35.	L298 Motor Drive	40
36.	Disipador de calor	41
37.	Motorreductor de 3V-9V	42
38.	Resoluciones de la ESP-32 CAM	44
39.	Ranura para tarjetas microSD	44
40.	Navegador web donde se captan las imágenes	45
41.	Anotación y el etiquetado de imágenes	46
42.	Implementación de la batería de 9V en el sistema eléctrico	46
43.	Aplicación para el movimiento del robot agrícola	49
44.	Aplicación para el movimiento del robot agrícola	52
45.	Prueba de la transmisión de imagen mediante ESP32-CAM	55
46.	Código del control de movimiento del Robot	56
47.	Código encargado de la detección de anomalías	57
48.	Trasmisión de imagen mediante la ESP32-CAM	58
49.	Código para la obtención de la IP del ESP-32 CAM	59

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Tabla 1. Matriz de objetivos	4
II.	Tabla 2. pH ideales del suelo para diferentes cultivos	10
III.	Tabla 3. Características de las placas Arduino	16
IV.	Tabla 4. Velocidad de los motores del Robot en terreno plano	53
V.	Tabla 5. Velocidad de los motores del Robot en terreno rocoso	53
VI.	Tabla 6. Velocidad de los motores del Robot en terreno Herbal	54
VII.	Tabla 7. Prueba 1 de comunicación entre el Robot y el módulo Bluetooth	55
VIII.	Tabla 8. Prueba 2 de comunicación entre el Robot y el módulo Bluetooth	55
IX.	Tabla 9. validación de detección según coincidencias entre aplicación y ser humano	60
X.	Tabla 10. Cantidad de anomalías detectadas por la aplicación y por un ser humano	61

I. INTRODUCCIÓN

Debido al clima y las condiciones meteorológicas que nos encontramos en la costa la hacen ideal para que las plantaciones de pimiento sean propensas a enfermarse de Tizón, enfermedad con un impacto severo en los cultivos.[1].

El excesivo uso de los abonos, como las condiciones en que se encuentra el terreno, además del abuso de los tratamientos químicos produce que se expanda la enfermedad del oídio, disminuyendo la disponibilidad de alimentos en la producción agrícola. [2]

El daño provocado por las enfermedades al no detectarse o predecirse a tiempo provoca que se propague rápidamente a otros cultivos, además al no descubrirse una plaga esto genera que más plantas se vean afectadas provocando el uso constante de pesticidas.[3]

Es evidente la necesidad de utilizar las nuevas tecnologías como ayuda complementaria en la detección oportuna, rápida y eficaz de anomalías en planta de pimientos que permita a los agricultores tener la reacción oportuna que permita detener el avance y con ello neutralizar un posible problema de grandes consecuencias.

Entre las nuevas tecnologías encontramos la utilización de transmisión de datos mediante redes inalámbricas y software que permita el tratamiento de imágenes digitales que diferencien entre su base de datos hojas con anomalías y mediante notificaciones poder informar del acontecimiento detectado.

II. PROBLEMA

Dado que cada vez se dificulta más las prácticas de la agricultura y esto comienza a ser un problema sobre todo en países desarrollados, una gran variedad de estos países tiene problemas principalmente en la falta de mano de obra agrícola. [4].

Esta adversidad de falta de mano ocasiona que no haya suficientes personas para vigilar los cultivos y esto cause que ocurran problemas que afligen a las plantas, estos problemas son las plagas y enfermedades que llegan a tener, esto es una de las principales y más importantes amenazas en los cultivos. [5]

Las enfermedades de las plantas son las principales razones detrás de la reducción tanto en la cantidad como en la calidad de la producción agrícola. Estos desafíos surgen debido a las constantes modificaciones en la configuración de las plantas y en las prácticas de cultivo, lo que da lugar a la aparición de nuevas enfermedades en las hojas de los vegetales. [6]

Estas dificultades provocadas por las enfermedades en las plantas, es promotora de una gran amenaza a la seguridad alimentaria a nivel mundial, provocando que se reduzca la producción de cultivos cosechados en todo el mundo. [7]

La producción de alimentos que se genera al cultivar es limitada, la razón de esto es que no todos los terrenos tienen los nutrientes suficientes para que se pueda cultivar, además las plagas provocaran que los suministros de alimentos para el futuro se reduzcan. [8]

Debido a que no todas las enfermedades de las plantas son fácilmente identificables, esto provoca que se produzca grandes daños a los cultivos, además de generar grandes pérdidas, esto no solo produce que se vea afectado las hojas de las plantas, sino que también afecta a sus frutos. [7]

Al cultivar en zonas costeras unas de las plagas más comunes es la mosca blanca, las subidas de temperatura y la falta de nutriente, generan la aparición y expansión hacia las demás plantas. [9]

Adicionalmente se debe considerar que la percepción visual es una de las herramientas en la detección de enfermedades o plagas, sin embargo, en ocasiones al encontrarse con grandes extensiones de cultivos, la inspección por parte del personal encargado de verificación del estado de las plantas llevará demasiado tiempo hasta su cumplimiento final, junto a ello se debe considerar errores de apreciación humana. [10]

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué beneficios tendrá el sector agrícola con el diseño de una Aplicación para la detección temprana de anomalías en cultivos de pimientos?

III. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto comenzó a originarse a partir de una problemática que cada vez va creciendo más, este problema es la falta de trabajadores que realicen la tarea de detectar las plagas y enfermedades en los cultivos, para esto se pensó diseñar una aplicación que ayude con la detección y análisis de anomalías, cuando nos referimos a anomalías quiere decir enfermedades y plagas que se puedan encontrarse en las plantas.

El diseño de esta aplicación está pensado en los problemas que acarrearán el solo depender de la vista humana, porque puede que no se visualice la anomalía correctamente y terminen dejándola avanzar produciendo un gran daño a los cultivos, para esto se tiene pensado utilizar el lenguaje informático Python para realizar la programación adecuada que permita la analítica respectiva para la identificación de las anomalías, las mismas que pueden ser una enfermedad o una plaga.

Para la visualización y posterior captura de imágenes, se tiene pensado utilizar un módulo ESP32 CAM, el mismo que tiene integrado una pequeña cámara que transmitirá imágenes que serán comparadas en la base de datos para realizar un análisis de las plantas antes que la anomalía comience a extenderse y produzca pérdidas en los cultivos, además si se previene a tiempo también se reducirá el uso de pesticidas, una de las enfermedades más comunes en los cultivos que estamos tratando sería el Tizón, enfermedad, si no se identifica a tiempo, conduce al deterioro y fallecimiento de la planta debido a la deshidratación.

Al empezar este proyecto se consideró que muchos países desarrollados comenzaron a tener problemas en el sector agrícola en lo referente a las prácticas necesarias para detectar las enfermedades y plagas, sin mano de obra que se dedique a la detección de los campos terminará afectando a los cultivos, provocando que se produzcan plagas y enfermedades.

IV. OBJETIVOS

IV-A. *Objetivo general*

Diseñar una aplicación para la detección y análisis de enfermedades y plagas que pueden producirse en los cultivos de pimientos mediante la utilización de la tarjeta de desarrollo EPS 32 Cam.

IV-B. *Objetivos específicos*

- Diseñar una aplicación para identificar plagas o enfermedades comunes en plantas de pimientos.
- Diseñar una aplicación para identificar plagas o enfermedades comunes en plantas de pimientos.
- Desarrollar un algoritmo que mediante la utilización visión artificial permita transmitir imágenes para el almacenamiento en una base de datos.
- Validar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de comparación con las imágenes almacenadas en la base de datos.

Matriz de objetivos

Tabla I
TABLA 1. MATRIZ DE OBJETIVOS

OBJETIVOS	PLANTEAMIENTO	META	INDICADOR
1	Diseñar una aplicación identificar plagas o enfermedades comunes en plantas de pimientos.	Desarrollar una interfaz amigable que permita identificar con una precisión del 90 POR ciento las plagas o enfermedades más comunes.	Tiempo promedio de respuesta al identificar la anomalía.
2	Desarrollar un algoritmo que mediante la utilización visión artificial permita transmitir imágenes para el almacenamiento en una base de datos.	Crear un algoritmo de visión artificial capaz de procesar imágenes y trasmitirlas de manera efectiva para su almacenamiento en un servidor.	Número de imágenes almacenadas en el servidor.
3	Validar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de comparación con las imágenes almacenadas en la base de datos.	Verificar el funcionamiento del sistema logrando una tasa de acierto de al menos el 90 por ciento a través de pruebas de comparación	90 por ciento de precisión entre las imágenes procesadas y las imágenes almacenadas.

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

V-A. Antecedentes investigativos

En el presente trabajo de tesis se ha considerado la investigación realizada por Sánchez (2016) en la de ciudad Ambato, trabajo llamado “sistema de monitoreo agrícola con tecnología inalámbrica y generación de alertas para la prevención temprana de plagas y enfermedades en el cultivo de papa en la parroquia Quimiag del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo”, en el mencionado trabajo investigativo se consideró demostrar que la combinación de tecnologías inalámbricas y el procesamiento de imágenes digitales en un sistema de monitoreo agrícola temprano permite el envío de información para la detección temprana de anomalías en cultivos, como se muestra en la “figura 1”, es un medio eficaz que permite alcanzar el objetivo del autor de análisis de parámetros que interfieran en la detección oportuna de plagas en los cultivos y así mismo la determinación de las tecnologías inalámbricas que se pueden utilizar para alcanzar la meta propuesta.



Figura 1. Detección de anomalías en cultivos.

Francis, Dhas y Anoop (2016) llevaron a cabo un estudio titulado “Identification of leaf diseases in pepper plants using soft computing techniques”, publicado en IEEE Xplore, que se centra en el uso de técnicas de procesamiento de imágenes digitales para identificar enfermedades en las hojas de plantas de pimiento. Para analizar imágenes de las plantas de los síntomas de las enfermedades se emplearon algoritmos de computación blanda para diferenciar entre plantas sanas y enfermas, su enfoque incluyó un monitoreo constante en granjas, lo que permitió evaluar el impacto real de las enfermedades en el campo

El proyecto de Cusme y Loor (2019), titulado “Aplicación móvil de detección y clasificación de ‘la roya’ en hojas de café robusta mediante aprendizaje automático”, es relevante por su enfoque en la creación de aplicaciones móviles para la identificación de enfermedades, los autores desarrollaron una aplicación que permite a los agricultores identificar y clasificar la roya en hojas de café en tiempo real, utilizando algoritmos de aprendizaje automático, el proceso involucra la captura y el análisis de imágenes de las hojas de café para distinguir áreas afectadas de las sanas.

La investigación de Maeda et al. (2018), titulado “Redes neuronales convolucionales para la detección y clasificación de enfermedades de plantas basadas en imágenes digitales”, los autores desarrollaron un sistema que utiliza redes neuronales convolucionales (CNN) para identificar y clasificar enfermedades en plantas a partir de imágenes digitales, utilizando el conjunto de datos PlantVillage y la arquitectura AlexNet, lograron entrenar un modelo que alcanzó una precisión del 98.9 por ciento en la clasificación de diversas enfermedades vegetales.

La tesis de Román y Ruiz (2021), “Detección de macronutrientes y enfermedades en campos de cultivo de banano orgánico con Machine Learning”, aunque centrada en cultivos de banano, ofrece un marco metodológico aplicable a otros tipos de cultivos como el pimiento, en su estudio, los autores desarrollaron una solución basada en inteligencia artificial para analizar la presencia de macronutrientes y la aparición de enfermedades en el suelo,

evaluaron diferentes algoritmos de clasificación y aplicaron técnicas de Machine Learning para identificar anomalías en el crecimiento de los cultivos. Este trabajo resalta la importancia de la inteligencia artificial en la agricultura y su potencial para ser adaptada a la detección de anomalías en otros cultivos.

V-B. Agricultura

La agricultura implica alterar los ecosistemas para convertirlos en agroecosistemas. La llegada de la agricultura se remonta al período neolítico, hace aproximadamente 10.000 a 12.500 años. Este acontecimiento marcó un punto crucial en la evolución de la especie humana, como se muestra en la “figura 2”, la agricultura juega un papel esencial en el avance de las naciones, adquiriendo una importancia aún mayor en aquellos países menos desarrollados debido a que gran parte de su población confía en ella para asegurar su supervivencia. [11]



Figura 2. Avance de la agricultura a través del tiempo.

V-B1. Factores para considerar durante el proceso agrícola: Durante todo proceso de plantación de los diferentes productos agrícolas, se debe considerar aspectos importantes que permitan llevar de manera eficiente el cultivo, entre estos factores debemos considerar el suelo, el clima y las posibles enfermedades.

V-B2. Factores abióticos por considerar: Elementos del clima como, luz, agua y la temperatura, son factores que se debe tener presente, pues el uso mediante supervisión responsable del aspecto climático permitirá de forma adecuada el cultivo de nuestros productos, en el proceso de cultivo de pimientos, tanto el exceso de agua como el exceso de sol afectarán en la germinación de nuestras plantas.

Es relevante destacar que las condiciones climáticas de temperatura no son un factor crítico para el pimiento; sin embargo, si las fluctuaciones entre el día y la noche oscilan entre 20 y 30 grados Celsius, pueden tener efectos negativos en las plantas.

En el caso de que se emplee el proceso de injertación, se observa un notable incremento en la capacidad del producto para resistir tanto temperaturas frías como calurosas.

El aspecto geográfico, es también otro de los factores que se debe considerar, pues la altitud va a tener influencia en el crecimiento de la planta, la orientación del sembrío tendrá consecuencias en las condiciones de lluvia o sol que se esté proporcionando, una mayor inclinación genera erosión por efectos del arrastre de las aguas de lluvia y de los vientos.

V-B3. Factores bióticos en los cultivos: Los elementos bióticos engloban organismos vivos que comprenden animales, vegetales, hongos, bacterias y una variedad de microorganismos diferentes. La combinación de estos componentes constituye lo que se conoce como biocenosis. [12]

Dentro de las particularidades de los elementos bióticos se encuentra su atributo vital, lo que implica que normalmente nos referimos a la fauna y la flora. Sus distintas manifestaciones y las interacciones que los definen exhiben un comportamiento específico, y poseen una notoria habilidad de adaptación y supervivencia en su entorno habitacional.[13]

Al ser una especie con vida presentan su propia estrategia para su reproducción y compiten con nuestras plantaciones por el alimento, el espacio, con la ventaja de presentar mayor fortaleza para la adaptación al medio, lo que va en detrimento de nuestros cultivos.

Otra característica es encontrar tres grupos, de acuerdo con los diferentes métodos basados en adquirir materia y energía del entorno físico, tenemos estas agrupaciones que incluyen a los productores, descomponedores y consumidores.

V-B4. Clasificación de los factores bióticos: Los seres vivos o factores bióticos se clasifican dependiendo de su organización en el ecosistema y su posición en la cadena trófica.

Esta clasificación se basa en los diversos niveles de jerarquía y organización ecológica en los factores bióticos, como se muestra en la “figura 3“, en esta encontramos Individuo, Población, Comunidad o biocenosis, Productores, Consumidores y Descomponedores. [14]

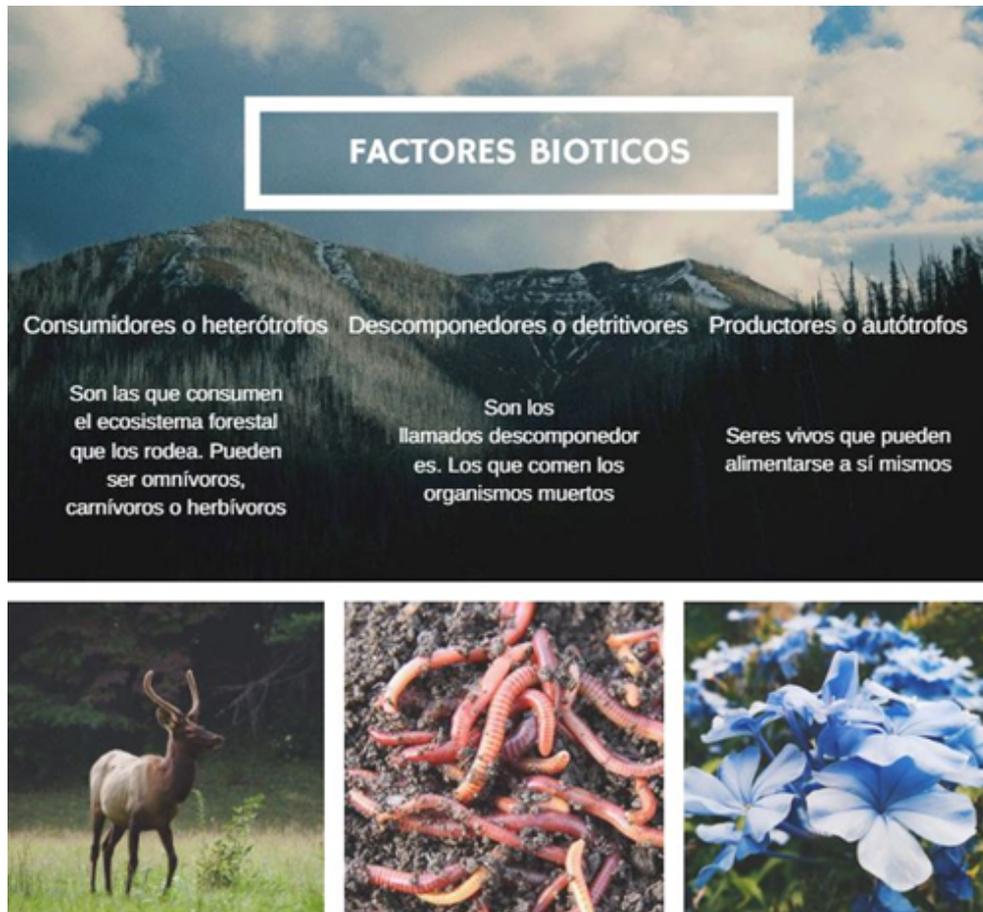


Figura 3. Clases de factores bióticos

V-C. EL PIMIENTO (*CAPSICUM ANNUUM*)

V-C1. *Características botánicas de la planta:* El pimiento, perteneciente a la familia Solanaceae, es una planta herbácea de gran importancia económica y culinaria a nivel mundial. Su fruto, de gran versatilidad en la cocina, presenta una amplia gama de colores, formas y tamaños, como se muestra en la “figura 4”, lo que lo convierte en un ingrediente esencial en numerosas recetas.

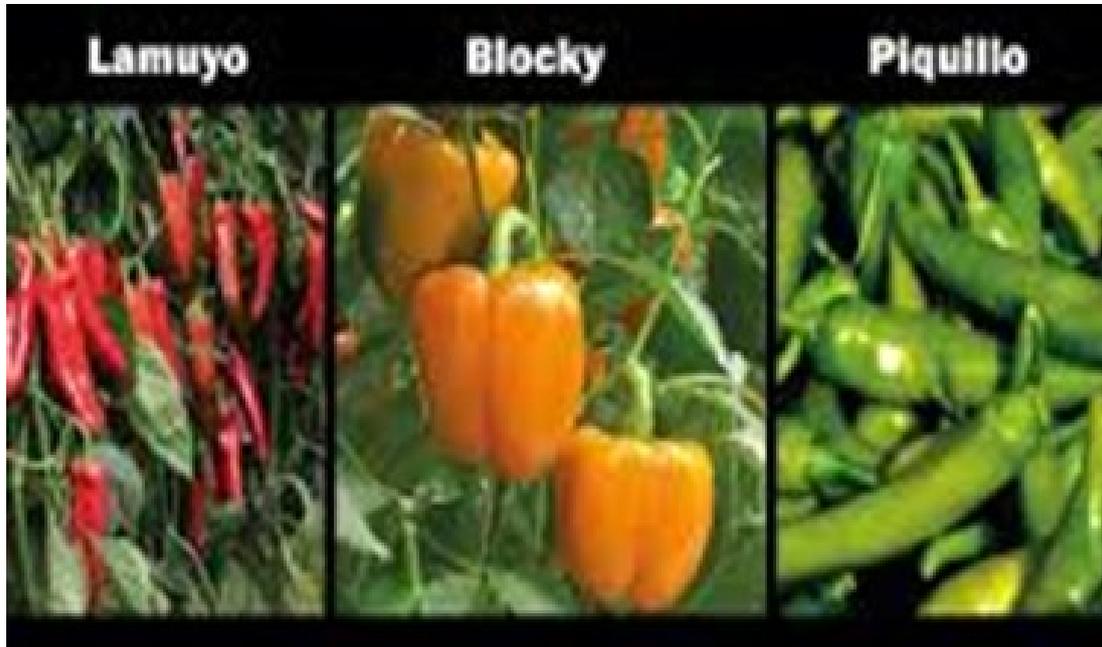


Figura 4. Tipos de pimientos

Entre las características generales en la planta de pimiento encontramos que el sistema radicular del pimiento es profundo y bien desarrollado, lo que le permite absorber nutrientes y agua de las capas más bajas del suelo. Las raíces principales pueden alcanzar profundidades de hasta 1 metro, aunque la mayoría de las raíces se encuentran en los primeros 30 cm del suelo.

El tallo del pimiento es erecto, ramificado y puede alcanzar alturas de entre 50 cm y 1.5 metros, dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo. Es de textura herbácea en las plantas jóvenes y se vuelve más leñoso con la edad.

Las hojas del pimiento son simples, alternas y de forma ovalada o lanceoladas, tienen un borde entero y una superficie lisa, el color de las hojas varía del verde claro al verde oscuro, y su tamaño puede oscilar entre 5 y 15 cm de largo.

Las flores del pimiento son solitarias y se desarrollan en las axilas de las hojas. Son hermafroditas, lo que significa que contienen tanto órganos masculinos (estambres) como femeninos (pistilo), las flores son de color blanco o, en algunas variedades, ligeramente violáceas, tienen una corola de cinco pétalos y un cáliz con cinco sépalos.

El fruto del pimiento es una baya hueca que puede variar en forma, tamaño y color según la variedad, los colores más comunes son el verde, rojo, amarillo y naranja, aunque también existen variedades moradas y blancas y el fruto contiene numerosas semillas pequeñas y planas, de color blanco o crema.

Las semillas del pimiento son pequeñas, redondeadas y de color claro, son viables durante varios años si se almacenan en condiciones adecuadas de humedad y temperatura. Como característica general del pimiento también se debe incluir el hábito de crecimiento, donde se considera generalmente que son plantas erectas, aunque algunas variedades pueden presentar un porte más arbustivo.

V-C2. *Ciclo de vida del pimiento:* El ciclo de vida del pimiento es un proceso fascinante que comienza con la germinación de las semillas, cuando las condiciones de humedad y temperatura son adecuadas, las cuales deben estar generalmente entre 20 y 30°C, en este ambiente las semillas comienzan a germinar, siendo este el primer paso en el desarrollo de la planta, donde las raíces emergen y empiezan a buscar nutrientes en el suelo.

A medida que la planta crece, entra en la fase de crecimiento vegetativo, durante este período, el pimiento desarrolla su sistema radicular, tallo y hojas, siendo estas últimas esenciales para la fotosíntesis, el proceso mediante el cual la planta convierte la luz solar en energía, el tallo se vuelve más robusto y ramificado, proporcionando soporte a la planta.

Eventualmente, la planta de pimiento alcanza la madurez y comienza a florecer, las flores del pimiento son hermafroditas, lo que significa que contienen tanto órganos masculinos como femeninos, sus flores, generalmente de color blanco o ligeramente violáceo, se desarrollan en las axilas de las hojas, la polinización, puede ser facilitada por insectos o el viento, lo cual es crucial en esta etapa para la formación de los frutos.

Tras la polinización, las flores se transforman en frutos, los pimientos, que son bayas huecas, comienzan a crecer y madurar, durante este proceso, los frutos cambian de color, pasando del verde a otros colores como rojo, amarillo, naranja, morado o blanco, dependiendo de la variedad, este cambio de color indica que los frutos están alcanzando su madurez, todo este ciclo puede ser visualizado en la “figura 5 “.

Finalmente, la planta entra en la fase de senescencia, etapa en la cual la planta envejece y sus funciones vitales comienzan a declinar, las hojas pueden amarillear y caer, y la producción de frutos disminuye, eventualmente, la planta muere, completando así su ciclo de vida.

Este ciclo de vida puede repetirse anualmente en climas templados, mientras que, en climas tropicales y subtropicales, el pimiento puede comportarse como una planta perenne, viviendo y produciendo frutos durante varios años.

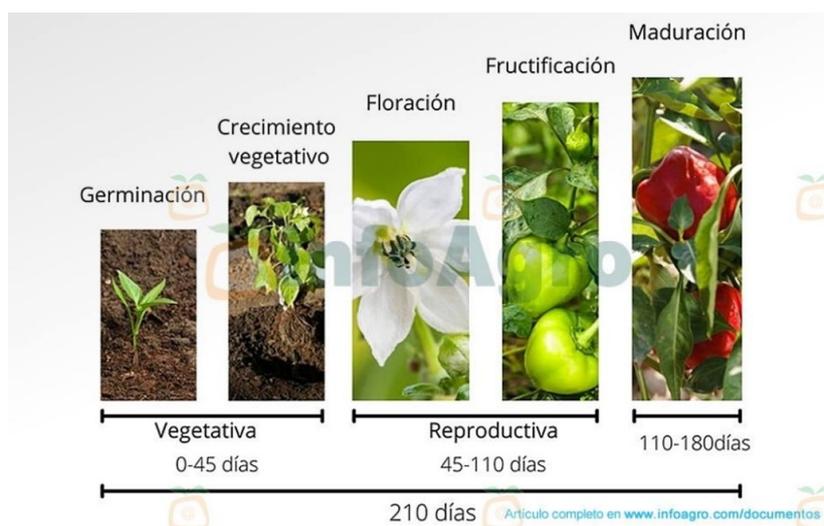


Figura 5. Ciclo de vida del pimiento

V-C3. *Requerimientos agroecológicos de la planta de pimiento:* Los pimientos, conocidos científicamente como *Capsicum annum*, tienen requerimientos agroecológicos específicos que son esenciales para su óptimo crecimiento y producción, a continuación, se detallan los aspectos más importantes relacionados como son el suelo, el clima y la nutrición.

V-C4. *Suelo:* Los pimientos prefieren suelos bien drenados y ricos en materia orgánica, el pH ideal del suelo para el cultivo de pimientos oscila entre 7.0 y 8.5, como se muestra en la “tabla 2 “, lo que significa que prefieren suelos ligeramente ácidos a neutros, es crucial que el suelo tenga una buena capacidad de retención de agua, pero sin llegar a encharcarse, ya que el exceso de agua puede provocar enfermedades radiculares, además, los suelos arenosos o franco-arenosos son ideales porque permiten un buen drenaje y aireación.

Tabla II
TABLA 2. PH IDEALES DEL SUELO PARA DIFERENTES CULTIVOS

Cultivo	Mín	Máx	Cultivo	Mín	Máx	Cultivo	Mín	Máx
Acelga	6	7,5	Col	5,5	7,5	Nabo	5,5	6,8
Agrios	6	7,5	Col Bruselas	5,7	7,3	Nogal	6	8
Almendro	6	7	Espinaca	6,2	7,6	Peral	5,6	7,2
Apio	6,1	7,4	Festuca ovina	4,5	6	Pimiento	7	8,5
Arroz	5	6,5	Festuca	4,5	7	Pino	5	6
Avellano	6	7	pratense	5,5	8	Plátano	6	7,5
Avena	5	7,5	Fleo	5,5	7	Poa pratense	5,5	7,5
Ballico	6	7	Frambuesa	5	6,5	Rábano	6	7,5
Begonia	5,5	7	Fresa	5	6	Remolacha	6,1	7,4
Berenjena	5,4	6	Gardenia	6	7,5	Rosal	5,5	7
Boniato	5,1	6	Girasol	5,5	7,2	Soja	6	7
Brócoli	6	7,3	Gramma	6	7,5	Tabaco	5,5	7,5
Brócoli	6	7,3	Gramma	6	7,5	Tabaco	5,5	7,5
cacahuete	5,3	6,6	Guisante	5,6	7	Tornate	5,5	7
Calabaza	5,6	5,7	Judía	5,5	7	Trébol blanco	5,6	7
Caña azúcar	6	8,8	Lechuga	5	7	Trébol híbrido	5,5	7
Castaño	5	6,5	Lino	5,5	7,5	Trébol rojo	5,5	7,5
Cebada	6,5	8	Maiz	5,4	6,8	Trébol violeta	5,7	7,6
Cebolla	6	7	Manzano	6,5	7,5	Trigo	5,5	7,5
Centeno	5	7	Meliloto	5,7	7,3	Veza	5,2	7
Cerezo	6	7,5	Melón	5,2	6,8	Vid	5,4	6,8
Clavel	6	7,5	Melocotonero	5,7	7,2	Zanahoria	5,7	7

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

V-C5. *Clima:* El pimiento es una planta que prospera en climas cálidos, la temperatura óptima para su crecimiento se sitúa entre 20°C y 30°C, las temperaturas por debajo de 15°C pueden ralentizar el crecimiento y afectar la floración y fructificación, mientras que temperaturas superiores a 35°C pueden causar estrés térmico y reducir la calidad de los frutos, los pimientos requieren una buena cantidad de luz solar, al menos 6-8 horas diarias, para realizar la fotosíntesis de manera eficiente.

V-C6. *Nutrición:* La nutrición es un aspecto crucial para el desarrollo saludable de los pimientos. Los principales nutrientes que necesitan son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), conocidos como macronutrientes.

Nitrógeno (N): Es esencial para el crecimiento vegetativo, ya que promueve el desarrollo de hojas y tallos, sin embargo, un exceso de nitrógeno puede llevar a un crecimiento excesivo de la parte vegetativa en detrimento de la producción de frutos.

Fósforo (P): Es fundamental para el desarrollo de las raíces y la floración, ayuda a la planta a establecer un sistema radicular fuerte y a producir flores y frutos de calidad.

Potasio (K): Es importante para la formación y maduración de los frutos ya que mejora la resistencia de la planta a enfermedades y condiciones de estrés.

Además de macronutrientes, los pimientos también requieren micronutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn) y boro (B), necesarios en menores cantidades, pero importantes para el desarrollo integral de la planta.

V-C7. *Manejo del Cultivo:* Para asegurar un buen rendimiento, es importante realizar prácticas de manejo adecuadas, como la rotación de cultivos para prevenir la acumulación de patógenos en el suelo, el uso de mulching (técnica que consiste en cortar el césped sin recoger los recortes de hierba), como se muestra en la “figura 6”, esta técnica conserva la humedad, controla las malas hierbas, además de la aplicación de fertilizantes orgánicos o inorgánicos según las necesidades del suelo y la planta.

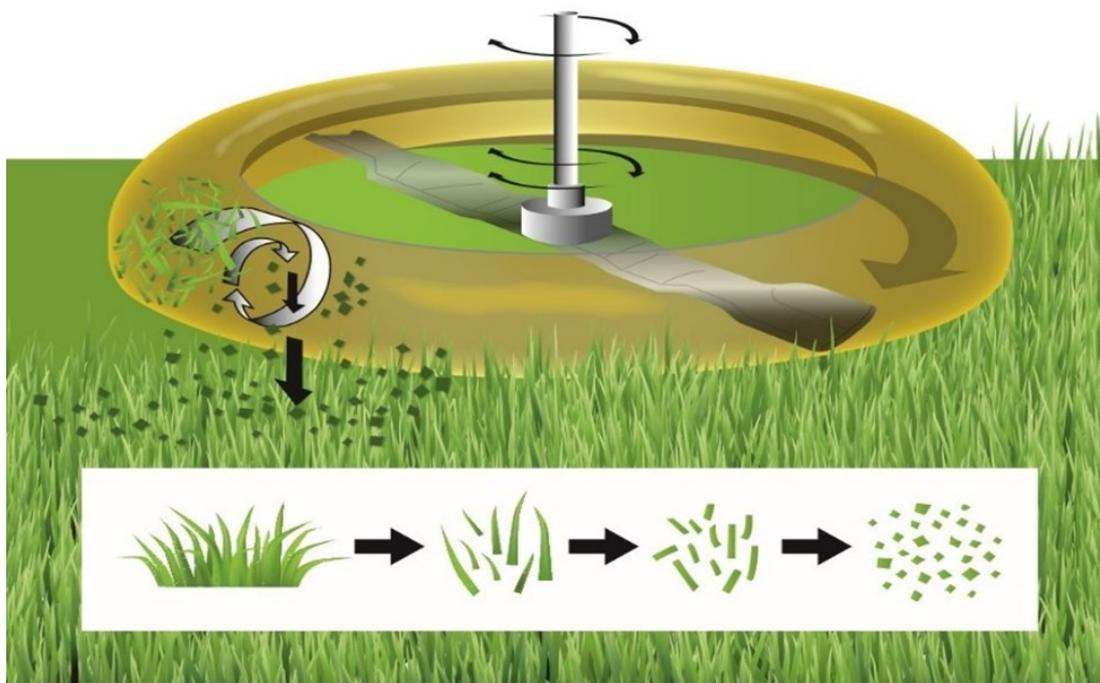


Figura 6. Técnica Mulching

En resumen, el cultivo de pimientos requiere un suelo bien drenado y rico en materia orgánica, un clima cálido con temperaturas moderadas y una nutrición equilibrada que incluya tanto macronutrientes como micronutrientes, con estos requerimientos agroecológicos bien gestionados, es posible obtener una producción de pimientos saludable y de alta calidad.

V-C8. *Plagas y enfermedades más comunes en plantas de pimientos:* Las plantas de pimientos pueden ser afectadas por diversas plagas y enfermedades que pueden comprometer su salud y producción, a continuación, se describe algunas de las más comunes como son la mosca blanca, el oídio y el tizón.

V-C9. *Mosca Blanca:* La mosca blanca (*Bemisia tabaci*), como se muestra en la “figura 7”, es una plaga muy común en los cultivos de pimientos, son pequeños insectos que se alimentan de la savia de las plantas, debilitándolas y reduciendo su crecimiento, también pueden transmitir virus que causan enfermedades en las plantas.



Figura 7. Mosca blanca

Entre los síntomas y daños que genera esta plaga tenemos:

- Hojas amarillentas y debilitadas.
- Presencia de una sustancia pegajosa llamada melaza, que puede favorecer el crecimiento de hongos como la fumagina.
- Reducción en la producción de frutos.

Para el control de esta plaga se utilizan trampas adhesivas amarillas para monitorear y reducir la población de moscas blancas, introducción de enemigos naturales como *Encarsia Formosa* (avispa parasitaria) y *Eretmocerus eremicus* (endoparásito de larvas de mosca blanca), también se utiliza la aplicación de insecticidas específicos, preferiblemente biológicos para minimizar el impacto ambiental.

V-C10. Oídio: El oídio es una enfermedad fúngica causada por varios hongos del género *Leveillula* y *Erysiphe*, esta enfermedad es fácilmente reconocible por el polvo blanco que aparece en las hojas, tallos y frutos, como se muestra en la "figura 8".



Figura 8. Enfermedad oídio

Entre los síntomas y daños que genera esta enfermedad tenemos:

- Aparición de manchas blancas y polvorizas en las hojas, tallos y frutos.
- Hojas deformadas y amarillentas.
- Reducción en la fotosíntesis y, por ende, en el crecimiento de la planta.

Para el control de esta enfermedad es necesario mantener una buena circulación de aire alrededor de las plantas para reducir la humedad, aplicar fungicidas específicos, como azufre o bicarbonato de potasio y utilizar variedades resistentes al oídio.

V-C11. Tizón: El tizón es una enfermedad causada por varios patógenos, siendo los más comunes *Phytophthora capsici* (tizón tardío) y *Alternaria solani* (tizón temprano), esta enfermedad puede afectar todas las partes de la planta, incluyendo las hojas como se muestra en la “figura 9”.



Figura 9. Enfermedad Tizón

Entre los síntomas y daños que genera esta enfermedad tenemos:

- Manchas marrones o negras en las hojas, que pueden tener un borde amarillento.
- Lesiones en los tallos que pueden causar el colapso de la planta.
- Frutos con manchas oscuras y hundidas.

Para el control de esta enfermedad es necesario realizar rotación de cultivos para evitar la acumulación de patógenos en el suelo, utilizar fungicidas específicos, implementar prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) para reducir la incidencia de la enfermedad.

Estas son solo algunas de las plagas y enfermedades más comunes que pueden afectar a las plantas de pimientos, un manejo adecuado y preventivo es esencial para mantener la salud de los cultivos y asegurar una buena producción.

V-D. PLATAFORMA PARA EL DESARROLLO ELECTRÓNICO ESP 32-CAM

Es una tarjeta de desarrollo que cuenta con un procesador de 32 bits y una capacidad de memoria de 5200kb. Además, integra una cámara, como se muestra en la “figura 10” capaz de capturar imágenes con una resolución de 1600 x 1200 píxeles, cuenta con WiFi y bluetooth, la tarjeta ESP32 se puede programar en Arduino y su velocidad Serial es de 115200. [15].

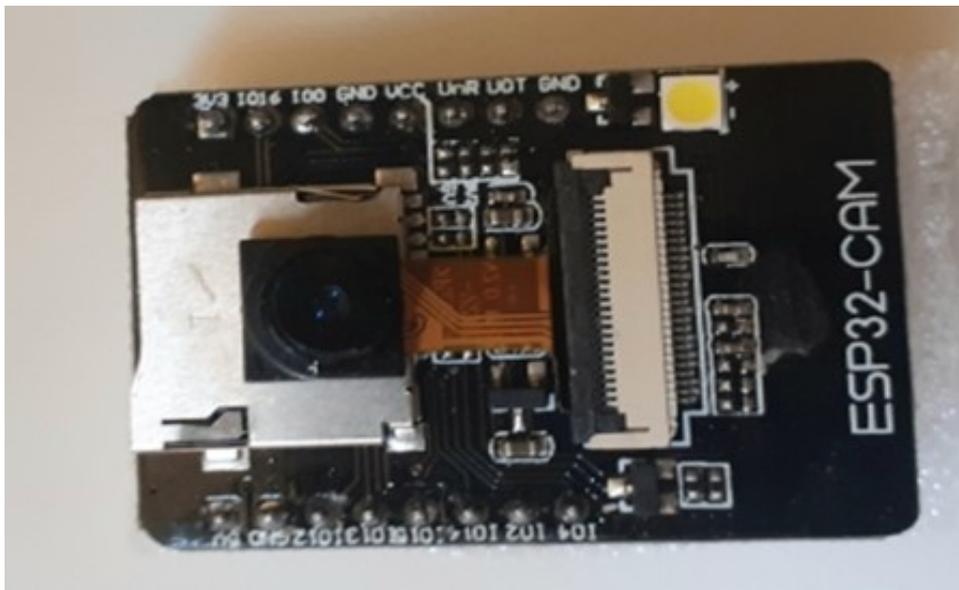


Figura 10. Tarjeta ESP CAM 32

La visión por computadora permite la adquisición y el procesamiento de imágenes para identificar características específicas de los cultivos que no son fácilmente perceptibles para el ojo humano, la detección de enfermedades y anomalías en plantas ofrece una herramienta poderosa para mejorar la precisión y la eficiencia en la monitorización de los cultivos.

El ESP32-CAM es un módulo de desarrollo que combina la funcionalidad del microcontrolador ESP32 con una cámara integrada, esta contiene varios puertos, como se muestra en la “figura 11”, además ofrece una solución compacta y eficiente para aplicaciones de visión por computadora y IoT, este dispositivo es adecuado para la implementación de sistemas de monitoreo.

EL ESP32 – CAM se centra en el diseño de una aplicación para la detección de plantas con anomalías en cultivos de pimientos, utilizando el ESP32-CAM la aplicación se beneficiará de las capacidades de captura y procesamiento de imágenes, combinadas con los algoritmos de inteligencia artificial para analizar y diagnosticar el estado de salud de los cultivos, este capturará imágenes de las plantas de pimiento a intervalos regulares, utilizando la potencia de procesamiento local del ESP32, se realizarán análisis preliminares para detectar signos de enfermedades o anomalía.

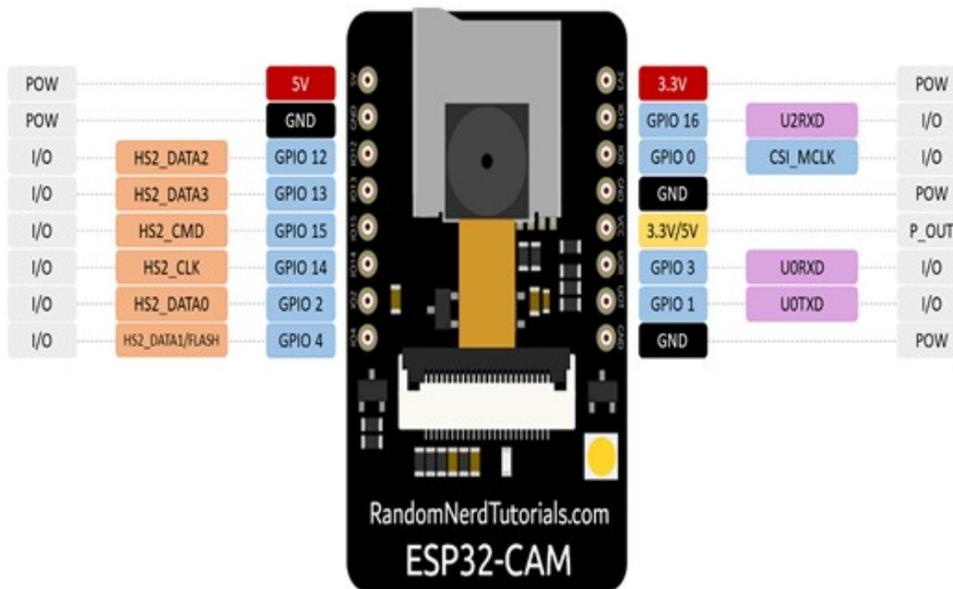


Figura 11. Puerto de la tarjeta ESP CAM 32

V-E. Arduino

Arduino consiste en una plataforma de hardware que se apoya en microcontroladores de código abierto, en la “figura 12” se muestra una tarjeta de arduino, acompañados de un ambiente integrado para el desarrollo de software (IDE). La sigla IDE se refiere a un entorno donde es viable crear códigos para supervisar los componentes físicos del hardware. [16]

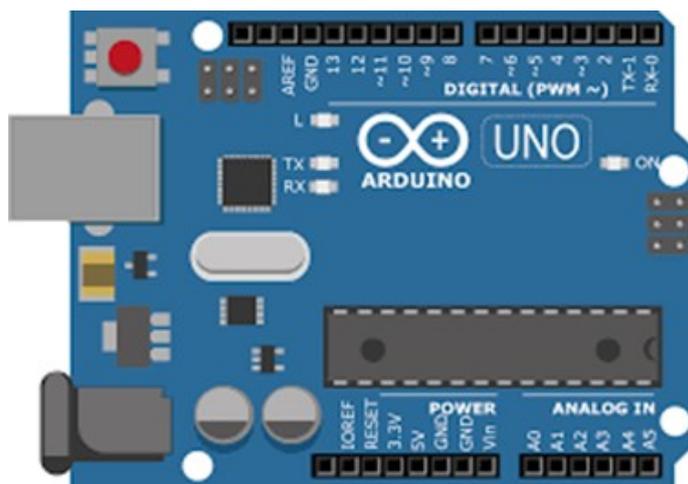


Figura 12. Tarjeta Arduino

V-E1. *Características de Arduino:* Una característica fundamental del Arduino es su capacidad de programar el microcontrolador desde cualquier computadora personal, incluye la funcionalidad de realizar pruebas de comunicación directamente desde el chip. El Arduino se compone de 14 pines que pueden ser ajustados para operar como entradas o salidas, permitiendo la conexión de dispositivos capaces de emitir o recibir señales digitales. [17]

El Arduino Uno seleccionado para este proyecto es debido a su amplia disponibilidad en el mercado, ya que es uno de los modelos más frecuentes en circulación, además sus características la hacen ideal para el proyecto. Este Arduino también cuenta con un cristal de 16Mhz, conector de Jack de alimentación y un botón de reinicio.

El Arduino Uno seleccionado para este proyecto es debido a su amplia disponibilidad en el mercado, ya que es uno de los modelos más frecuentes en circulación, sus características la hacen ideal para el proyecto, como se muestra en la “tabla 3”. Este Arduino también cuenta con un cristal de 16Mhz, conector de Jack de alimentación y un botón de reinicio.

Tabla III
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS PLACAS ARDUINO

Tipo de placa Arduino	características
Arduino UNO	En su versión más básica, el Arduino está equipado con un microcontrolador ATmega328, dispone de 14 pines digitales y 6 analógicos.
Arduino DUE	Es un Arduino que cuenta con un microcontrolador de 32 bits.
Arduino Leonardo	Su característica predominante radica en la presencia de 20 pines destinados a funciones de entrada y salida digital, junto con 12 pines designados para entradas analógicas.
Arduino Nano	Guarda similitudes con el Arduino Uno, no obstante, se distingue principalmente por su tamaño y el método mediante el cual se establece la conexión con una computadora para llevar a cabo su programación.
Arduino Mega 2560	Arduino equipado con un microcontrolador ATmega2560. Dispone de 54 pines que funcionan tanto como entradas como salidas digitales, de los cuales 16 presentan la capacidad de operar como salidas PWM. Además de esto, ofrece 4 puertos UART y admite dos modos: PWI y SPI.

Fuente:<https://www.youthmappers.org/post/youthmappers-y-micro-rob>

El Arduino Uno se emplea para programar y gestionar el ESP32-CAM, facilitando la integración y el funcionamiento del sistema de monitoreo, a través de la conexión USB y el entorno de desarrollo Arduino IDE, se carga el firmware y la escritura de código para el ESP32-CAM, permitiendo su operación.

El Arduino Uno facilita el desarrollo de software y algoritmos que controlan cómo el ESP32-CAM captura, procesa y transmite las imágenes, el programa escrito en el lenguaje de programación de Arduino, se desarrolla para definir el comportamiento del ESP32-CAM.

El ESP32-CAM, en conjunto con el Arduino Uno, facilita la comunicación dentro de una red IoT, permitiendo la transmisión de datos y el control remoto del sistema de monitoreo, utilizando la conectividad Wi-Fi del ESP32-CAM, los datos de imágenes y análisis pueden ser transmitidos a un dispositivo móvil.

Microcontrolador ATmega328P

El núcleo del Arduino UNO es el microcontrolador ATmega328P como se muestra en la “figura 13”, es un chip de 8 bits que funciona a una frecuencia de 16 MHz. Esta velocidad de procesamiento es suficiente para manejar las tareas del sistema, como el control de los motores y la comunicación con el módulo Bluetooth, sin comprometer la eficiencia ni la estabilidad del sistema, además, el ATmega328P cuenta con 32 KB de memoria flash lo que permite almacenar el código necesario para controlar los diferentes componentes del sistema.

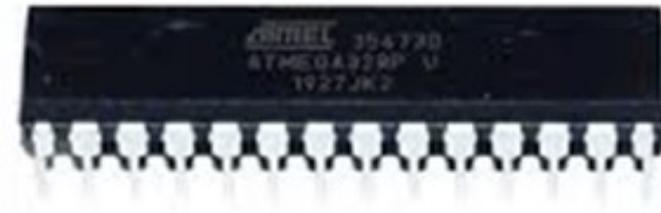


Figura 13. Microcontrolador (ATmega328p)

Pines de Entrada/Salida (I/O)

El Arduino UNO posee 14 pines digitales de los cuales 6 pueden ser usados como salidas PWM y 6 entradas analógicas, esta distribución es fundamental en el diseño del sistema eléctrico, ya que permite la interacción con diversos componentes:

1° Pines digitales: Son utilizados para controlar el L298 Motor Drive, permitiendo ajustar la dirección de los motores del robot mediante señales lógicas de encendido y apagado (HIGH y LOW), además, los pines digitales con funcionalidad PWM permiten controlar la velocidad de los motores, generando señales moduladas que varían la potencia suministrada.

2° Entradas analógicas: Aunque en este proyecto no se utilizan directamente, estos pines están disponibles para futuros desarrollos en los que se podrían integrar sensores adicionales, como sensores de temperatura, humedad o luz, lo que podría mejorar las capacidades del sistema en entornos agrícolas.

Alimentación eléctrica

El Arduino Uno puede ser alimentado mediante dos fuentes principales: una fuente de alimentación externa, como una batería, o a través de su puerto USB, se optó por la alimentación mediante baterías de 9V, ya que el sistema está diseñado para operar en un entorno agrícola, donde la movilidad y la independencia de una fuente de energía fija son esenciales.

Comunicación serial

El Arduino UNO cuenta con un puerto UART para comunicación serial, que es fundamental para la interacción con el módulo Bluetooth HC-06, esta comunicación permite que el sistema reciba comandos desde un dispositivo móvil, transmitiendo instrucciones para mover el robot según las necesidades del operador, además, el Arduino Uno soporta otros protocolos de comunicación, como SPI e I2C, lo que lo convierte en una plataforma altamente compatible con sensores y módulos externos.

V-F. Lenguajes de programación

La programación engloba el procesamiento de datos con el propósito de lograr resultados. En el lenguaje de programación, se encuentran instrucciones, una fase de procesamiento y un resultado final. En los primeros momentos del desarrollo de la programación, se utilizaban interruptores electromecánicos, tarjetas perforadas, transistores, tubos de vacío y microchips, los cuales desempeñan la función fundamental del sistema binario (0 y 1) mediante la utilización de máquinas.[18]

Estos lenguajes radican en símbolos, reglas gramaticales y semántica que definen las estructuras válidas del lenguaje, como se muestra en la “figura 14“. Los programadores pueden especificar los datos en los que una aplicación debe operar, cómo se almacena o transmite los datos, además de qué operaciones debe tomar el software. Los lenguajes de programación permiten la colaboración de múltiples programadores en la construcción de un programa.

```
1 // class declaration
2 public class ProgrammingExample {
3
4 // method declaration
5 public void sayHello() {
6
7 // method output
8 System.out.println("Hello World!");
9
10 }
```

Figura 14. Código de programación

V-F1. *Python*: Es un lenguaje de programación conocido por su simplicidad, legibilidad y versatilidad, además de su facilidad de uso. Python prioriza la legibilidad del código y usa una sintaxis similar al inglés, como se muestra en la “figura 15“, esto la hace accesible. Tiene una gran biblioteca estándar y admite múltiples paradigmas de programación. [19]

Python se usa ampliamente en varios campos, incluido el análisis de datos, el desarrollo web, la computación científica, la inteligencia artificial y la automatización. Para este proyecto Python se utilizará en el desarrollo de un algoritmo que permita la detección de anomalías en los cultivos de pimiento.



Figura 15. Código de programación Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y de propósito general, que ha ganado una inmensa popularidad en la última década, fue creado por Guido van Rossum y lanzado por primera vez en 1991, se destaca por su simplicidad y legibilidad, lo que lo convierte en una opción ideal tanto para principiantes como para desarrolladores experimentados.

V-F2. Desarrollo de software: Python ha sido empleado en la creación de software desde sus comienzos y sigue siendo ampliamente utilizado con esa finalidad. Su uso se extiende a la confección de programas en diversas plataformas, ya que se adapta a múltiples campos de funcionamiento como sistemas operativos para computadoras u otros dispositivos.

El desarrollo de software con Python es una experiencia enriquecedora y versátil, es conocido por su sintaxis clara y legible, lo que facilita la escritura y el mantenimiento del código, su amplia biblioteca estándar y la gran cantidad de paquetes disponibles permiten a los desarrolladores abordar una variedad de problemas, desde el análisis de datos hasta el desarrollo web y la inteligencia artificial, además, Python es un lenguaje interpretado, lo que significa que se puede ejecutar el código línea por línea, facilitando la depuración y el desarrollo iterativo.

La comunidad de Python es otra de sus grandes fortalezas. Hay una gran cantidad de recursos disponibles, como documentación, foros y tutoriales, que ayudan a los desarrolladores a aprender y resolver problemas. Frameworks populares como Django y Flask hacen que el desarrollo web sea más eficiente, mientras que bibliotecas como NumPy y pandas son esenciales para el análisis de datos, en el ámbito de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, TensorFlow, Roboflow y PyTorch son herramientas poderosas que se integran perfectamente con Python.

Python también es conocido por su portabilidad y su capacidad para integrarse con otros lenguajes y tecnologías, esto lo convierte en una opción ideal para proyectos que requieren interoperabilidad, además, su uso en la educación ha crecido significativamente, ya que es un excelente primer lenguaje de programación debido a su simplicidad y potencia, en resumen, el desarrollo de software con Python ofrece una combinación única de simplicidad, versatilidad y comunidad de apoyo, lo que lo convierte en una opción popular entre desarrolladores de todos los niveles.

V-F3. Análisis de datos: Python se emplea en el análisis de datos debido a su eficacia en la creación de representaciones visuales impactantes para conjuntos de datos intrincados, así como en el proceso de análisis de la información. Estos dos elementos de su capacidad lo transforman en una herramienta esencial en el análisis de datos.

Dentro del ámbito de las ciencias de datos, se dispone de una variada selección de enfoques de visualización de datos, incluyendo gráficos de barras, líneas y círculos, lo cual resulta ventajoso al simplificar el procedimiento, de esta manera la capacidad de emplear un lenguaje para controlar la forma en que se organiza la información también está presente.

Python ofrece bibliotecas poderosas como pandas, que facilita la manipulación y el análisis de grandes conjuntos de datos, y NumPy, que proporciona soporte para operaciones matemáticas y matrices, además, herramientas como Matplotlib y Seaborn permiten la visualización de datos de manera clara y atractiva, lo que es crucial para interpretar resultados y tomar decisiones informadas. Python también se integra bien con otras tecnologías y lenguajes, lo que permite una mayor flexibilidad en los proyectos de análisis de datos. La comunidad activa y los abundantes recursos educativos disponibles hacen que aprender y aplicar técnicas de análisis de datos con Python sea accesible para principiantes y expertos por igual. En resumen, Python es una herramienta esencial para el análisis de datos, ofreciendo una combinación de simplicidad, potencia y flexibilidad.

V-G. RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES

El reconocimiento de imágenes es una rama de la inteligencia artificial y la visión por computadora que se centra en la identificación y clasificación de objetos dentro de una imagen digital, como se muestra en la “figura 16 “, este

campo ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsado por avances en algoritmos de aprendizaje profundo y el aumento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores.



Figura 16. Reconocimiento de objetos

En términos técnicos, el reconocimiento de imágenes se basa en redes neuronales convolucionales (CNN), que son especialmente eficaces para procesar datos visuales, las CNN funcionan aplicando filtros a las imágenes de entrada para extraer características relevantes, como bordes, texturas y patrones, estas características se combinan en capas sucesivas de la red para formar representaciones más abstractas y complejas de la imagen original. [20]

Uno de los principales desafíos en el reconocimiento de imágenes es la variabilidad de las condiciones en las que se capturan las imágenes, Factores como la iluminación, el ángulo de visión y la oclusión pueden afectar la precisión del modelo, por lo que para abordar estos desafíos, los investigadores han desarrollado técnicas como el aumento de datos, que implica la generación de nuevas imágenes a partir de las existentes mediante transformaciones como rotaciones, escalados y cambios de color.

El reconocimiento de imágenes tiene aplicaciones en una amplia variedad de campos, así tenemos, en la medicina, se utiliza para analizar imágenes médicas y ayudar en el diagnóstico de enfermedades, en la industria automotriz, es fundamental para el desarrollo de vehículos autónomos que pueden detectar y reaccionar ante obstáculos en tiempo real, también se emplea en la seguridad, donde los sistemas de vigilancia utilizan el reconocimiento de imágenes para identificar comportamientos sospechosos y mejorar la seguridad pública.

A pesar de sus avances, el reconocimiento de imágenes aún enfrenta desafíos éticos y de privacidad, por ejemplo, la capacidad de identificar personas y objetos en tiempo real plantea preocupaciones sobre la vigilancia masiva y el uso indebido de los datos personales, esto conlleva a que los desarrolladores y legisladores trabajen juntos para establecer regulaciones que protejan la privacidad y los derechos de los individuos.

El reconocimiento de imágenes es una tecnología poderosa con un potencial significativo para transformar diversas industrias, sin embargo, su desarrollo y aplicación deben gestionarse cuidadosamente para abordar los desafíos técnicos y éticos que plantea.

V-G1. Precisión de un modelo de reconocimiento: Evaluar la precisión de un modelo de reconocimiento de imágenes es un proceso fundamental para determinar su eficacia y capacidad de generalización, este proceso implica varias etapas y el uso de diferentes métricas que proporcionan una visión integral del rendimiento del modelo. La

precisión, entendida como la proporción de predicciones correctas sobre el total de predicciones, es una métrica básica pero no siempre suficiente, especialmente en conjuntos de datos desequilibrados donde algunas clases pueden estar sobrerrepresentadas.

Para obtener una evaluación más detallada, se utilizan métricas adicionales como la precisión y el recuerdo, la precisión mide la proporción de verdaderos positivos sobre el total de predicciones positivas, lo que indica cuántas de las predicciones positivas del modelo son correctas, por otro lado, el recuerdo mide la proporción de verdaderos positivos sobre el total de instancias reales positivas, indicando cuántos de los casos positivos reales fueron identificados correctamente por el modelo, estas métricas son esenciales para entender no solo cuántas predicciones son correctas, sino también cuántos casos reales el modelo es capaz de identificar.

La F1-score llamado también F-score o medida F, es un estimador de la capacidad de clasificación de una prueba diagnóstica. que es la media armónica de la precisión y el recuerdo, se utiliza cuando se necesita un equilibrio entre ambas métricas.

Esta métrica es particularmente útil en situaciones donde tanto los falsos positivos como los falsos negativos tienen un costo significativo, además, en problemas de detección de objetos, se emplea el promedio de precisión media (mAP), como se muestra en la “figura 17”, que evalúa la precisión del modelo en diferentes umbrales de confianza, proporcionando una medida más robusta del rendimiento del modelo en diversas condiciones.

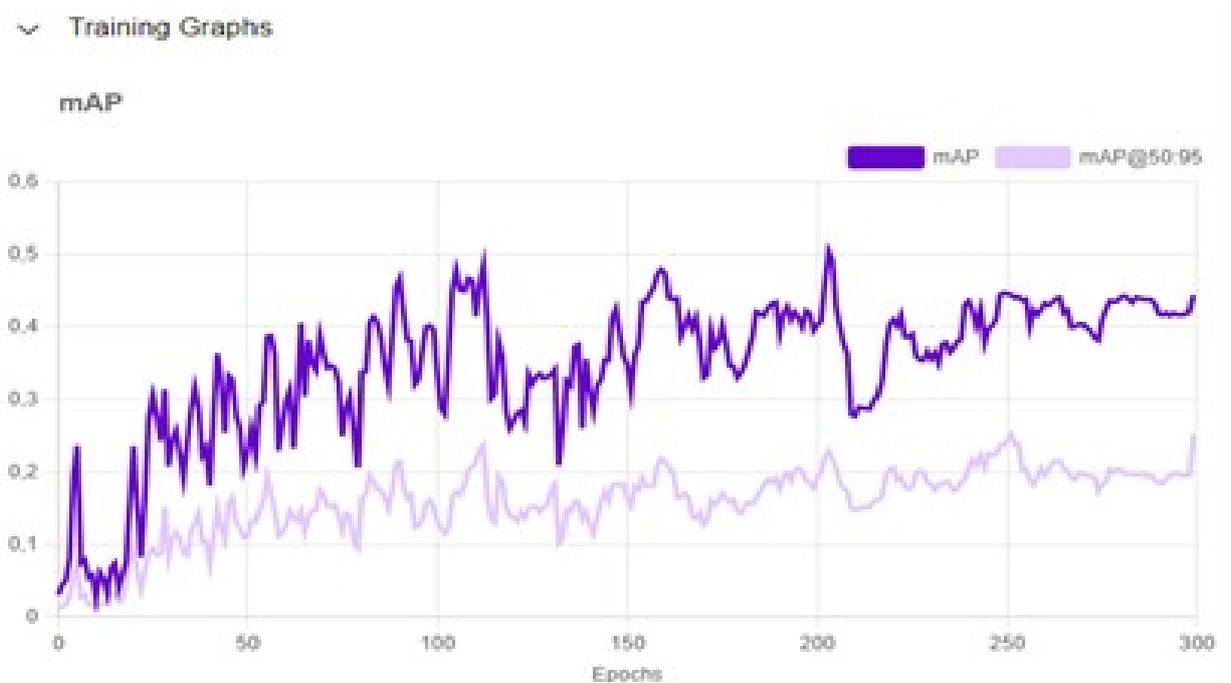


Figura 17. Promedio de precisión media (mAP)

La matriz de confusión es otra herramienta valiosa en la evaluación de modelos de reconocimiento de imágenes. Esta matriz muestra las predicciones correctas e incorrectas del modelo, desglosadas por cada clase, lo que ayuda a identificar patrones de error específicos y áreas donde el modelo puede necesitar mejoras, además, la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) y el área bajo la curva (AUC) proporcionan una medida agregada del rendimiento del modelo en todos los umbrales posibles, ofreciendo una visión más completa de su capacidad de discriminación.

Es crucial utilizar un conjunto de datos de validación que no haya sido visto por el modelo durante el entrenamiento para evaluar su rendimiento de manera objetiva. Esto ayuda a garantizar que el modelo no solo memorice el conjunto de entrenamiento, sino que también generalice bien a datos nuevos. La evaluación continua y el ajuste de los hiperparámetros del modelo son esenciales para mejorar su precisión y adaptabilidad a diferentes contextos y desafíos.

Evaluar la precisión de un modelo de reconocimiento de imágenes es un proceso multifacético que requiere el uso de diversas métricas y herramientas, este proceso no solo ayuda a determinar la eficacia del modelo, sino que también proporciona información valiosa para su mejora continua y adaptación a nuevas situaciones y desafíos, la combinación de técnicas de evaluación y la consideración de diferentes métricas permiten una comprensión más profunda y completa del rendimiento del modelo, asegurando su eficacia y fiabilidad en aplicaciones del mundo real.

V-G2. Redes neuronales convolucionales: Las redes neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés) son una arquitectura de red diseñada específicamente para procesar datos con una estructura de cuadrícula, como las imágenes, inspiradas en la organización del cerebro humano, las CNN son particularmente efectivas para tareas de visión por computadora, como la clasificación de imágenes, la detección de objetos y el reconocimiento de patrones.

Una CNN se compone de varias capas, como se muestra en la “figura 18” cada una de las cuales tiene un propósito específico, la capa convolucional es la primera y más fundamental, en esta capa, se aplican filtros a la imagen de entrada para extraer características básicas como bordes, texturas y colores, estos filtros se deslizan sobre la imagen, realizando operaciones de convolución que producen mapas de características, a medida que los datos avanzan a través de la red, las capas convolucionales posteriores combinan estas características básicas para identificar patrones más complejos y abstractos.

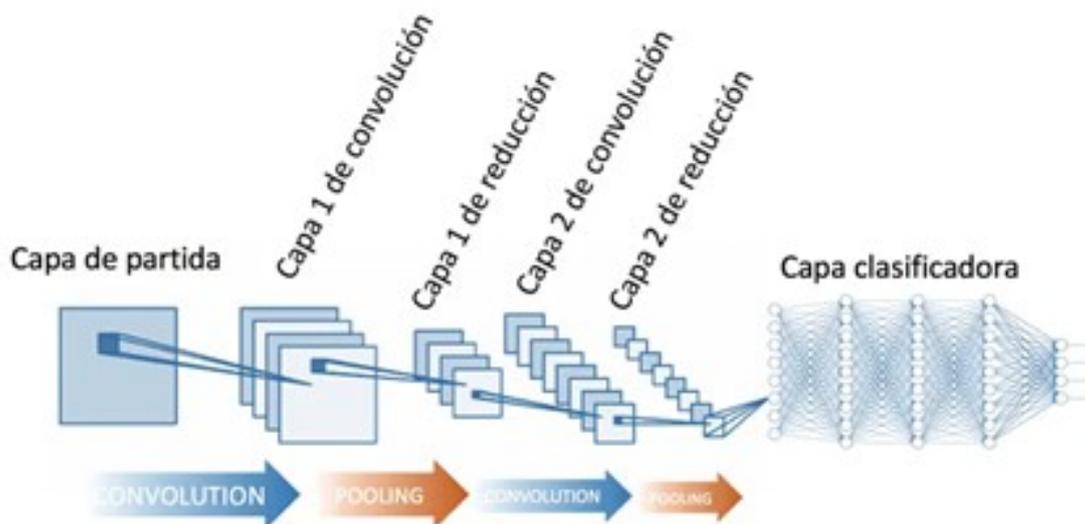


Figura 18. Red convolutiva CNN

Otra capa importante es la capa de agrupación (pooling), que reduce la dimensionalidad de los mapas de características, disminuyendo así la cantidad de parámetros y el costo computacional, esto se logra mediante operaciones como el agrupamiento máximo (max pooling), que selecciona el valor más alto en una región específica del mapa de características. La reducción de dimensionalidad también ayuda a que la red sea más robusta frente a variaciones en la posición y escala de los objetos en la imagen.

Finalmente, las capas totalmente conectadas (fully connected layers) se utilizan para tomar las características extraídas y realizar la clasificación final, estas capas funcionan de manera similar a las redes neuronales tradicionales, donde cada neurona está conectada a todas las neuronas de la capa anterior. La salida de la última capa totalmente conectada se pasa a través de una función de activación, para producir las probabilidades de las diferentes clases. El entrenamiento de una CNN implica ajustar los pesos de los filtros y las conexiones mediante un proceso de retropropagación, donde el error de la predicción se propaga hacia atrás a través de la red para actualizar los pesos, este proceso se repite durante muchas iteraciones hasta que la red alcanza un nivel aceptable de precisión.

Las CNN han revolucionado el campo de la visión por computadora, permitiendo avances significativos en áreas como la conducción autónoma, la medicina y la seguridad, su capacidad para aprender directamente de los datos y su eficiencia en el procesamiento de imágenes las convierten en una herramienta poderosa para una amplia gama de aplicaciones.

V-G3. *Yolo*: YOLO en el ámbito de la inteligencia artificial es una sola red convolucional, que se encarga de la detección de objetos, como se muestra en la “figura 19”, esta predice simultáneamente múltiples cuadros delimitadores y probabilidades de clase para esos cuadros en una imagen, la capacidad de predicción simultánea convierte a YOLO en una herramienta excepcionalmente eficiente y potente en la detección de objetos.



Figura 19. Yolov8

Esta red es capaz de generar predicciones para todos los cuadros delimitadores y las probabilidades de clase de una imagen de manera simultánea, su funcionamiento es que cada celda de la cuadrícula en la que se divide la imagen se encarga de identificar un objeto si el centro de este se encuentra dentro de los límites de dicha celda.[21]

YOLO tiene una gran ventaja de R-CNN más rápido para su velocidad (FPS) y portabilidad, sin embargo, los dispositivos con menos recursos de hardware (GPU, CPU, Memoria) son difíciles de implementar, y un FPS más bajo y un mayor retraso de tiempo conducen a limitaciones en las aplicaciones.[22]

YOLO, que significa “You Only Look Once”, es un algoritmo de detección de objetos en tiempo real que ha revolucionado el campo de la visión por computadora, fue introducido en 2015 por Joseph Redmon y su equipo, YOLO se destaca por su velocidad y precisión, a diferencia de otros métodos que dividen la tarea de detección en múltiples etapas, YOLO trata la detección de objetos como un problema de regresión único, utilizando una red neuronal convolucional (CNN) para predecir directamente las coordenadas de los cuadros delimitadores y las probabilidades de clase en una sola pasada.

V-G4. Cómo se entrena un modelo con Yolo: Entrenar un modelo YOLO implica varios pasos clave, primero se necesita recopilar y etiquetar un conjunto de datos adecuado para la tarea de detección de objetos, generalmente se hace utilizando herramientas de anotación como LabelImg, donde cada objeto en las imágenes se marca con un cuadro delimitador y una etiqueta de clase, como se muestra en la “figura 20 “.

Una vez que se tiene un conjunto de datos, se debe dividirlo en conjuntos de entrenamiento y validación, luego se configura un archivo de configuración que define los parámetros del modelo, como el tamaño de la imagen, las clases de objetos y las rutas a los archivos de datos.



Figura 20. Detección de objetos mediante LabelImg

El siguiente paso es entrenar el modelo utilizando una red neuronal convolucional (CNN), para esto se puede utilizar frameworks como PyTorch, Roboflow o TensorFlow, Durante el entrenamiento, el modelo ajusta sus pesos para minimizar la diferencia entre sus predicciones y las etiquetas reales de los datos de entrenamiento.

Este proceso se repite durante varias épocas hasta que el modelo alcanza un nivel aceptable de precisión, después del entrenamiento, es crucial evaluar el rendimiento del modelo utilizando el conjunto de datos de validación, esto permite ajustar los hiperparámetros y mejorar la precisión del modelo. Finalmente se utiliza el modelo entrenado para hacer inferencias en nuevas imágenes, detectando y clasificando objetos en tiempo real.

V-H. VISIÓN POR COMPUTADORA

La visión por computadora ha revolucionado múltiples industrias, desde la medicina hasta la agricultura, permitiendo a las máquinas interpretar y comprender el mundo visual de manera similar a los humanos, en este contexto, Roboflow se ha destacado como una herramienta esencial para facilitar y acelerar el desarrollo de proyectos de visión por computadora.

V-HI. *¿Qué es Roboflow?:* Roboflow es una plataforma que simplifica el proceso de creación, gestión y despliegue de modelos de visión por computadora, como se muestra en la “figura 21” fundada en 2019, su objetivo principal es democratizar el acceso a esta tecnología, permitiendo a desarrolladores y empresas de todos los tamaños aprovechar el poder de la inteligencia artificial (IA) sin necesidad de ser expertos en el campo, entre sus características principales tenemos:

1º Gestión de Datos: Roboflow permite a los usuarios cargar, etiquetar y organizar grandes conjuntos de datos de imágenes, la plataforma soporta múltiples formatos de datos y ofrece herramientas intuitivas para la anotación de imágenes, lo que facilita la preparación de datos de entrenamiento de alta calidad.

2º Aumentación de Datos: Una de las características más destacadas de Roboflow es su capacidad para aumentar los datos, esto implica generar variaciones de las imágenes originales mediante técnicas como rotación, escalado y cambio de color, lo cual es crucial para mejorar la robustez y precisión de los modelos de visión por computadora.

3º Entrenamiento de Modelos: Roboflow ofrece integraciones con diversas bibliotecas y frameworks de aprendizaje automático, como TensorFlow y PyTorch. Los usuarios pueden entrenar sus modelos directamente en la plataforma o exportar los datos preparados para usarlos en sus propios entornos de desarrollo.

4º Despliegue y Monitorización: Una vez entrenado el modelo, Roboflow facilita su despliegue en diferentes entornos, ya sea en la nube, en dispositivos móviles o en sistemas embebidos, además, la plataforma proporciona herramientas para monitorizar el rendimiento del modelo en tiempo real, permitiendo ajustes y mejoras continuas.

Roboflow se ha consolidado como una herramienta indispensable en el campo de la visión por computadora, su enfoque en la simplicidad y accesibilidad ha permitido a desarrolladores y empresas aprovechar el poder de la IA de manera efectiva, a medida que la tecnología continúa avanzando, es probable que veamos aún más innovaciones y aplicaciones sorprendentes impulsadas por plataformas como Roboflow.

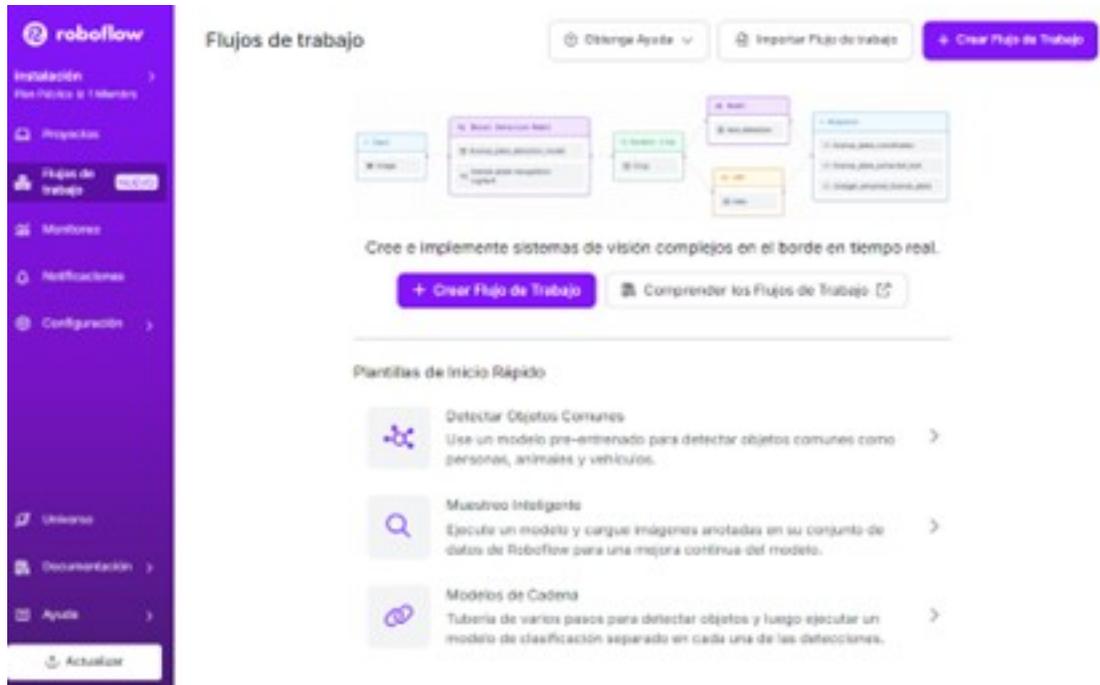


Figura 21. Plataforma Roboflow

V-H2. Proceso en Roboflow: El proceso para la aumentación de datos en Roboflow se estructura en base a:

1. Carga de Imágenes: Los usuarios cargan sus conjuntos de datos de imágenes en la plataforma.
2. Selección de Técnicas: A través de una interfaz intuitiva, los usuarios seleccionan las técnicas de aumentación que desean aplicar.
3. Configuración de Parámetros: Los usuarios pueden ajustar los parámetros de cada técnica, como el ángulo de rotación o el nivel de brillo.
4. Aplicación de Aumentación: Roboflow aplica las transformaciones seleccionadas a las imágenes, generando un conjunto de datos aumentado.
5. Visualización y Exportación: Los usuarios pueden visualizar las imágenes aumentadas y exportarlas para su uso en el entrenamiento de modelos.

V-H3. Que son Dataset: Un dataset (o conjunto de datos) es una colección organizada de datos que se utiliza para diversos propósitos, como el análisis, la investigación y el entrenamiento de modelos de inteligencia artificial, entre las características de un dataset tenemos:

1. Estructura: Los datasets pueden estar estructurados en diferentes formatos, como tablas, matrices, imágenes, texto, etc., cada formato se adapta a diferentes tipos de datos y aplicaciones.
2. Etiquetas: En el contexto de aprendizaje automático, los datasets a menudo incluyen etiquetas que describen las características o categorías de los datos, por ejemplo, en un dataset de imágenes de plagas o enfermedades en hojas de plantas, cada imagen podría estar etiquetada con el tipo de plaga o de enfermedad de la planta.
3. Tamaño: Los datasets pueden variar en tamaño, desde unos pocos datos hasta millones de registros, el tamaño puede influir en la precisión y el rendimiento de los modelos de IA.

V-H4. Usos de los Datasets: Los dataset son muy utilizados en el entrenamiento de modelos de IA, debido a que se utilizan para entrenar modelos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, los datos de entrenamiento permiten que los modelos aprendan patrones y realicen predicciones precisas, además del entrenamiento, los datasets se utilizan para validar y probar los modelos, esto ayuda a evaluar el rendimiento del modelo y a identificar posibles mejoras.

Los datasets se analizan para extraer información valiosa y se visualizan para comprender mejor los datos y comunicar hallazgos, entre los Datasets Populares tenemos como ejemplo Imagenet, la cual es un gran conjunto de datos de imágenes etiquetadas utilizado para entrenar modelos de visión por computadora. Otro dataset muy popular es COCO (Common Objects in Context), el cual se define como un dataset de imágenes que contiene objetos en contextos variados, utilizado para tareas de detección y segmentación de objetos, también se encuentra MNIST, un dataset de dígitos manuscritos utilizado para entrenar y evaluar modelos de reconocimiento de caracteres.

V-I. Bases de datos

Una base de datos consiste en un conjunto de información guardada en una memoria externa y dispuesta mediante una estructura específica. Cada base de datos se crea con el propósito de cumplir con las necesidades de información de una entidad. Se puede concebir una base de datos como un extenso depósito de información que se establece de forma en una única ocasión, que es accesible simultáneamente por diversos usuarios. Dentro de una base de datos, los datos se fusionan con el mínimo de duplicaciones posible, en consecuencia, la base de datos no se restringe a un solo departamento de la organización. [23]

VI. MARCO METODOLÓGICO

Los resultados de la investigación realizada en sitios que cuentan con plantas de pimientos corresponden a una “investigación aplicada”, la cual se centra en resolver problemas prácticos y específicos mediante la aplicación de teorías, conocimientos y técnicas científicas, a diferencia de la investigación básica, que busca expandir el conocimiento teórico sin un objetivo práctico inmediato, la investigación aplicada tiene como finalidad directa la implementación de soluciones que puedan ser utilizadas en contextos reales.

El marco metodológico en la investigación aplicada es fundamental, ya que proporciona la estructura y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el estudio de manera sistemática y rigurosa. Este marco incluye la selección de métodos y técnicas adecuadas para la recolección y análisis de datos, así como la definición de los pasos a seguir para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados.

En la investigación aplicada, el proceso metodológico suele comenzar con la identificación de un problema específico que requiere una solución práctica, el problema puede surgir de necesidades observadas en diversos campos, como la agricultura, la medicina, la ingeniería, la educación o el medio ambiente, una vez identificado el problema, se formula una pregunta de investigación clara y precisa que guiará todo el estudio.

VI-A. Modelo de investigación

El propósito de este proyecto consistirá en idear una aplicación cuyo principal propósito sea identificar enfermedades y plagas en plantíos de pimientos, como también disminuir los errores de detección de anomalías, para con esta contribución dar una solución a la reducción de cultivos, problema principal en los países desarrollados.

El diseño de esta aplicación informática implica un enfoque sistemático e integral para garantizar satisfacer las necesidades y expectativas del usuario, la cual es la detección preventiva de plagas y enfermedades comunes en plantas de pimientos. La metodología para diseñar esta aplicación informática implica comprender los requisitos del usuario, diseñar la interfaz de usuario y desarrollar y evaluar la aplicación, el presente trabajo de tesis discutirá y diseñará cada uno de estos pasos en detalle.

El primer paso en el diseño de la aplicación informática es comprender los requisitos del usuario, esto implica realizar investigaciones de campo para identificar las anomalías más comunes que afectan a los cultivos. La creación de personajes y escenarios también es esencial para comprender el comportamiento y los objetivos de los usuarios, al hacerlo, permitirá crear una aplicación que satisfaga las necesidades del usuario objetivo, por ejemplo, una hacienda de tamaño pequeña o mediana, con plantación de pimientos, se le desarrolla una aplicación para análisis de imágenes de sus cultivos con el objetivo de realizar una detección oportuna de enfermedades y plagas más comunes que se presentan. Mediante la recopilación de imágenes, se puede comprender los diferentes tipos de anomalías que afligen a las plantas, como también las acciones que producen estas anomalías.

El segundo paso en el diseño de la aplicación informática es diseñar la interfaz de usuario, esto implica desarrollar wireframes y prototipos para visualizar la aplicación e incorporar principios de diseño centrados en el usuario para desarrollar una aplicación que pueda optar por utilizar la metodología de desarrollo Agile para permitir flexibilidad y adaptabilidad durante el proceso de desarrollo, también se implementará lenguajes de programación Python para construir la aplicación, finalmente, se realizarán pruebas y control de calidad para detectar y corregir cualquier error antes de que la aplicación sea implementada.

Para el diseño se visualiza que por medio de ESP32-Cam se pueda distinguir las plantas afectadas por las anomalías que se ocasionan por el clima o las plagas, mediante el uso del lenguaje Python se planea diseñar una aplicación que ingrese a una base de datos que nos permita comparar las fotos almacenadas.

Mediante la ESP32-Cam se realizará captura de imagen que serán analizadas con las que se encuentre en la base de datos del sistema en caso de detección oportuna de una planta con alguna enfermedad o plaga emitirá un aviso de alerta al usuario, con el fin de tomar una acción oportuna que permita contrarrestar los problemas derivados por estas anomalías produciendo el menor daño posible a los cultivos.

La metodología del diseño de la aplicación informática requiere un enfoque sistemático e integral que implica comprender los requisitos del usuario, interfaz, desarrollar y evaluar la aplicación, mediante estos pasos, se diseñará una aplicación que cumpla con los requerimientos y expectativas de los usuarios en plantaciones de cultivos de pimientos.

VI-B. Sujetos de estudio

Los sujetos de estudio en un proyecto de reconocimiento de imágenes en plantas con anomalías son las propias plantas, específicamente aquellas que presentan diversas condiciones de salud. Estas plantas pueden estar afectadas por plagas, para lo que se procede con la selección de diferentes hojas de las plantas de pimientos en diferentes sectores de Data de Posorja, los mismos que cuentan con plantas de pimientos, para asegurar una amplia representación de posibles anomalías.

Las imágenes de estas plantas se capturan en diversas etapas de crecimiento y en diferentes condiciones ambientales para obtener un conjunto de datos variado y representativo, posteriormente se procede a anotar manualmente estado de las hojas capturadas en las imágenes, identificando y clasificando anomalías presentes, este proceso asegura que el modelo de reconocimiento de imágenes pueda aprender a identificar patrones específicos asociados con cada tipo de anomalía, mejorando su precisión y efectividad en la detección de problemas en plantas.

VI-C. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para recolectar datos en un proyecto de reconocimiento de imágenes en plantas con anomalías, se emplean diversas técnicas e instrumentos, para el presente proyecto se ha utilizado la cámara de alta resolución, la cual captura imágenes detalladas de las plantas desde diferentes ángulos, proporcionando claridad en los detalles, esta técnicas e instrumentos proporcionan datos precisos y detallados, esenciales para entrenar modelos de reconocimiento de imágenes que puedan identificar y clasificar anomalías en plantas de manera efectiva.

Para realizar esta actividad, también se elaboró una encuesta estructurada de tipo escalar con preguntas cerradas de opción múltiple y preguntas con respuestas dicotómicas para determinar el nivel de aceptación o rechazo de este recurso para la detección de anomalías en plantas entre los agricultores.

VI-D. Análisis de los datos

El análisis de datos se realiza asegurando que los datos sean completos y precisos, para luego llevar a cabo la codificación de las respuestas, asignando valores numéricos a las opciones de respuesta como 1 para Sí y 0 para “No” en las respuestas dicotómicas y el valor positivo en las respuestas señaladas en las preguntas cerradas, a continuación, se utiliza estadística descriptiva para resumir los datos, calculando frecuencias, porcentajes y distribuciones, posteriormente se crean tablas y gráficos, para visualizar los resultados de manera clara y comprensible.

También se aplica análisis de correlación para identificar posibles relaciones entre diferentes variables, la validación de los datos es crucial para asegurar la fiabilidad y consistencia de los resultados, finalmente, se interpretan los hallazgos para extraer conclusiones significativas, este proceso asegura un análisis riguroso y efectivo de las respuestas de la encuesta.

VI-E. Desarrollo del sistema Mecánico

El sistema mecánico es un componente esencial en el diseño de robots móviles, ya que garantiza la correcta locomoción y estabilidad del dispositivo, el robot agrícola utilizado para la detección de plantas con anomalías en cultivos de pimientos se basa en la plataforma Smart CAR 4WD “figura 22”, una estructura robusta y flexible diseñada específicamente para integrar diversos componentes electrónicos y mecánicos.



Figura 22. Smart CAR 4WD

El robot agrícola está compuesto por un chasis compacto y ligero, equipado con cuatro ruedas impulsadas por motores de corriente continua, esta configuración de cuatro ruedas motrices, este le otorga al robot una capacidad de tracción y maniobrabilidad en terrenos agrícolas irregulares, donde es crucial garantizar que el robot pueda moverse de manera estable y precisa entre las plantas sin dañarlas.

El sistema mecánico incluye la estructura física del chasis, las ruedas, los motores y la distribución de los componentes electrónicos, como el ESP32-CAM, el Arduino UNO, el L298 Motor Drive, las baterías y el módulo Bluetooth HC-06, cada componente se colocó de manera estratégica para garantizar un equilibrio adecuado que permita un rendimiento óptimo en el campo.

El robot agrícola responde a las exigencias del entorno rural, con capacidad para sortear obstáculos y desplazarse sobre terrenos irregulares, su chasis facilita la implementación de las modificaciones necesarias para incluir sensores adicionales o mejorar su funcionalidad, como en el caso de la cámara ESP32-CAM.

La capacidad del robot agrícola para soportar el peso y la distribución de los equipos electrónicos sin comprometer su estabilidad ni agilidad es uno de los aspectos fundamentales en el diseño del sistema mecánico, este robot debe ser capaz de operar de forma eficiente y precisa, desplazándose de manera fluida entre las filas de plantas y capturando imágenes a través de la ESP32-CAM para su posterior análisis en la detección de anomalías.

VI-E1. Diseño del Chasis del Robot agrícola: El chasis es el esqueleto del robot “figura 23”, la estructura física que soporta todos los componentes mecánicos y electrónicos se ha utilizado la plataforma Smart CAR 4WD, una solución predefinida pero altamente versátil que proporciona una base sólida para la construcción del robot agrícola, este chasis está fabricado en material acrílico resistente y ligero, lo que facilita la movilidad del robot y, al mismo tiempo, garantiza la durabilidad necesaria para operar en entornos de campo.

La elección del Smart CAR 4WD como plataforma base se basa en varios factores, uno de estos factores es su diseño modular permite integrar fácilmente diferentes componentes electrónicos, como el Arduino Uno, el ESP32-CAM, el módulo Bluetooth HC-06, y el L298 Motor Drive, así también como en caso de ser necesario se le podría agregar sensores adicionales que podrían ser necesarios para mejorar la funcionalidad del robot, este enfoque modular facilita futuras expansiones del sistema, lo que es particularmente útil en proyectos de investigación y desarrollo continuo.

El material del chasis es altamente resistente a condiciones climáticas adversas, como la humedad, el calor o incluso el polvo, que suelen ser factores presentes en ambientes agrícolas, además la ligereza del material contribuye significativamente a la eficiencia energética del robot, ya que permite que los motores consuman menos energía para mover toda la estructura.



Figura 23. Chasis del robot

VI-E2. Materiales para el armado del Chasis Robot agrícola : En la “figura 24” se muestran los materiales para armar el robot, en esta lista tendremos 8 tuercas (M4 Nut), utiliza 8 al colocar los motores usando los tornillos largos, además utilizamos 6 tornillos largos al ensamblar la parte superior del robot.

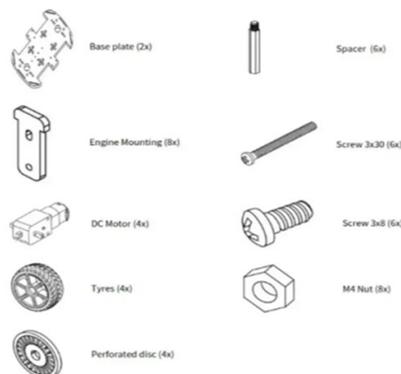


Figura 24. Materiales del Chasis Robot Agrícolas

VI-E3. Integración de los Motores y Ruedas: La integración de los motores y ruedas es uno de los aspectos fundamentales para garantizar la movilidad y funcionalidad del sistema en entornos de campo, los motores DC utilizados en esta plataforma son responsables del movimiento del robot, permitiendo que se desplace por terrenos irregulares y se ajuste a las necesidades específicas de los cultivos de pimientos, la configuración de tracción en las cuatro ruedas del robot agrícola proporciona una estabilidad adicional y asegura que el robot pueda operar de manera efectiva incluso en terrenos complejos o accidentados.

Los motores seleccionados para este proyecto son motores DC de 3V a 9V, adecuados para proporcionar un equilibrio entre potencia y eficiencia energética, estos motores ofrecen un rango de operación que permite un control preciso de la velocidad y dirección del robot, lo que es crucial para navegar en el entorno agrícola, además son compactos y ligeros, lo que contribuye a la eficiencia general del robot al minimizar el peso total del sistema.

El rango de voltaje de los motores es crucial, ya que permite que el robot se ajuste a las condiciones cambiantes del terreno, en terrenos más accidentados, se puede aumentar el voltaje suministrado a los motores para obtener más potencia, mientras que, en superficies más planas, el robot puede funcionar a un voltaje más bajo para conservar energía, esta flexibilidad es fundamental en el diseño de un robot agrícola, donde las condiciones del terreno pueden variar.

El robot agrícola utiliza un sistema de tracción en las cuatro ruedas, lo que significa que cada una de las cuatro ruedas está conectada directamente a un motor DC, cada rueda contribuye al desplazamiento del robot, el sistema de tracción en las cuatro ruedas asegura que el robot pueda superar estos obstáculos sin perder estabilidad. La distribución de los motores “figura 25” contribuye con la estabilidad del robot, cada motor está montado en una de las cuatro ruedas, esto determina que el peso del robot se distribuya de manera uniforme, esto mejora la maniobrabilidad y reduce el desgaste de las ruedas y motores.

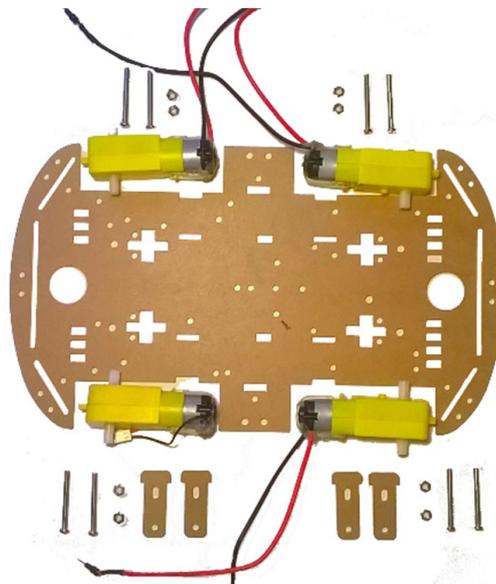


Figura 25. Distribución de los motores

El ajuste directo de los motores a las ruedas una de las características que mejora la respuesta inmediata del robot a los comandos de control, la ausencia de mecanismos de amortiguación o para retrasar la acción del motor permite una mayor precisión en los movimientos, lo que es crucial en un entorno donde se requiere un control cuidadoso para evitar daños a las plantas o a otros componentes del entorno.

El diseño no solo minimiza la pérdida de potencia, sino que también asegura una mejor eficiencia energética, un factor clave en el diseño de robots autónomos alimentados por baterías, al reducir la cantidad de energía desperdiciada, el robot puede operar durante más tiempo sin necesidad de reemplazar las baterías, aumenta la autonomía y viabilidad del sistema en aplicaciones a largo plazo, como la vigilancia de cultivos.

La distribución de los motores en el robot agrícola sigue un esquema que favorece la estabilidad del robot en movimiento, al estar cada motor montado en una de las cuatro ruedas, el peso total del robot se distribuye equitativamente en los puntos de contacto con el suelo, mejorando la maniobrabilidad en terrenos difíciles y reduciendo el riesgo de vuelco o deslizamiento, este diseño asegura que el centro de gravedad del robot se mantenga bajo, lo que contribuye a una mayor estabilidad incluso cuando el robot enfrenta obstáculos o cambios repentinos en el terreno.

La distribución uniforme de los motores también ayuda a reducir el desgaste desigual de las ruedas y de los propios motores, en un robot agrícola que estará en uso constante, esto prolonga la vida útil de los componentes y reduce la frecuencia de mantenimiento, un solo motor o rueda que sufra un desgaste prematuro, podría afectar el rendimiento general del robot, disminuyendo su capacidad de maniobrar con precisión en el campo.

El uso de materiales ligeros pero resistentes, como el acrílico y los metales ligeros, asegura que el chasis sea lo suficientemente robusto para soportar el estrés mecánico sin comprometer la movilidad del robot, como está diseñado el chasis permite desmontar y ajustar los motores, lo que facilita el mantenimiento y la optimización del rendimiento.

VI-E4. Estructura y distribución de los componentes del Robot: El robot cuenta con un diseño que optimiza la distribución de los componentes, el chasis incluye una serie de orificios y ranuras que permiten fijar los motores y otros dispositivos de forma segura y estable, en este robot agrícola, los motores DC están montados directamente sobre las ruedas, permitiendo una conexión firme y eficiente entre el sistema de tracción y el chasis.

La disposición de los componentes “figura 26” sobre el chasis también sigue un patrón estratégico para mantener el equilibrio del robot, la batería de 9V se coloca en la parte final del chasis, mientras que los demás componentes, como el módulo Bluetooth HC-06, el Arduino Uno, y el ESP32-CAM, se distribuyen a lo largo del cuerpo del robot para evitar cualquier inclinación excesiva hacia un lado, esta configuración minimiza el riesgo de vuelcos cuando el robot atraviesa terrenos irregulares, lo que es fundamental para su funcionamiento en el campo.

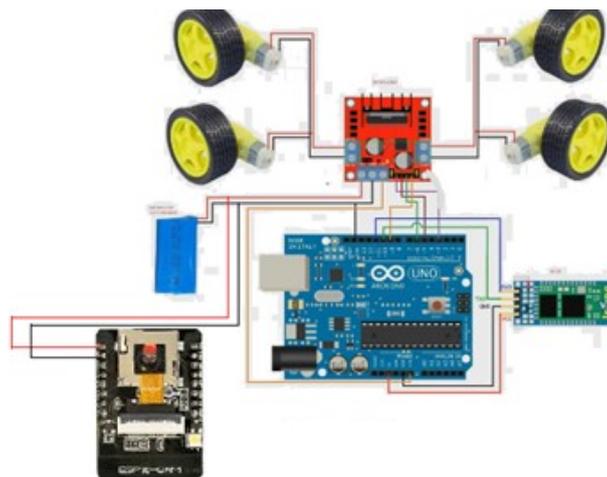


Figura 26. Distribución de los componentes

El tamaño compacto de esta plataforma le permite desplazarse fácilmente entre filas de cultivos, lo cual es esencial para la tarea de detección de plantas con anomalías en los cultivos de pimientos, a pesar de su tamaño reducido, el chasis es lo suficientemente grande como para albergar los componentes electrónicos necesarios y garantizar un espacio adecuado para la colocación segura de los mismos.

El material acrílico utilizado en la construcción del chasis es resistente a la corrosión, lo que es especialmente importante en ambientes exteriores donde el robot puede estar expuesto a condiciones meteorológicas adversas, como la humedad o la lluvia ligera, además, el material acrílico proporciona rigidez suficiente para soportar el peso del sistema eléctrico y los motores, sin añadir un peso excesivo que afecte la eficiencia energética del robot.

VI-F. Pruebas del Sistema Mecánico

VI-F1. Prueba de Movilidad en Terrenos Irregulares: El objetivo principal del sistema mecánico es garantizar que el robot pueda desplazarse de manera eficiente sobre terrenos de cultivo, que suelen presentar superficies irregulares “figura 27”, para ello se realiza una prueba de movilidad en una simulación de un terreno agrícola, incluyendo zonas con pendientes leves, baches, y áreas con diferente tipo de suelo. El resultado esperado del robot es que sea capaz de desplazarse sin quedarse atascado o sufrir vuelcos, y la distribución de peso y potencia en las ruedas debe garantizar un desplazamiento suave.



Figura 27. Robot en Superficie irregular

VI-F2. Prueba de Resistencia de los Motores: Los motores conectados al L298 motor drive deben ser capaces de soportar cargas continuas y operar durante tiempos prolongados, esta prueba tiene como objetivo verificar si los motores pueden mantener su rendimiento bajo carga continua, en esta prueba se somete a los motores a un funcionamiento continuo durante varias horas “figura 28”, variando las condiciones de carga simulando diferentes terrenos, además el sistema de control del motor L298 Motor Drive debe responder de manera eficiente sin generar picos de energía excesiva.



Figura 28. Funcionamiento continuo de los motores

VI-F3. Prueba de tiempo de operación del robot: La duración de la batería es un factor determinante para el desempeño del robot en el campo, en estas pruebas “figura 29” buscamos determinar cuánto tiempo puede operar el robot utilizando las baterías desechables de 9V, que alimentan tanto el L298 Motor Drive como el Arduino UNO, además de monitorear el tiempo de operación del robot en distintas condiciones de uso, de estas pruebas se espera que la batería sea capaz de mantener su rendimiento durante un tiempo prolongado de operación.



Figura 29. Desempeño del robot en el campo

VI-G. Desarrollo del sistema electrónico

Al desarrollar este sistema electrónico, lo que primero que debemos tener es una fuente de alimentación portátil, en este proyecto se seleccionó una batería de 9V debido a la simplicidad de su integración y su capacidad para proporcionar un suministro de energía adecuado para los componentes seleccionados, como el Arduino Uno, el Módulo Bluetooth HC-06, el L298 Motor Drive, el Motorreductor y otros periféricos como la ESP32-CAM, las conexiones de los componentes del circuito se muestran en la “figura 30”.

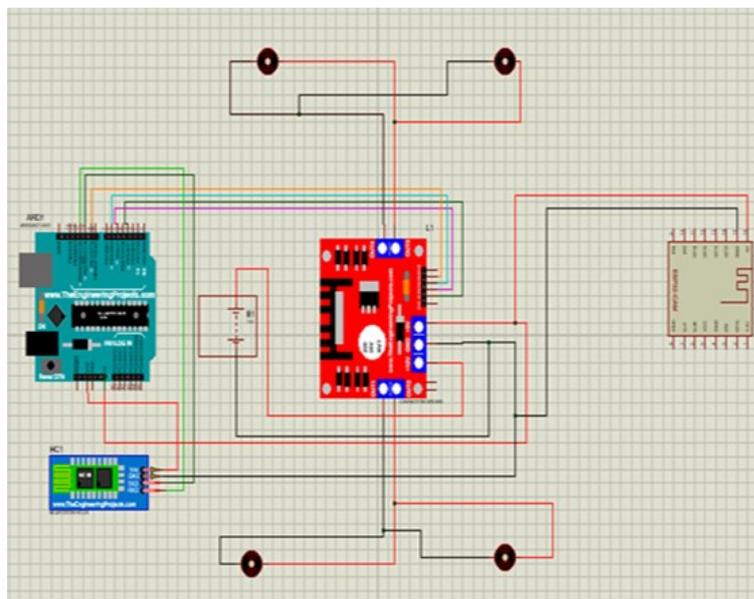


Figura 30. Esquemático del robot

La batería tiene varias características que la hacen adecuada para este tipo de aplicaciones, principalmente por su capacidad de amperaje que oscila entre 400 mAh y 600 mAh, esto significa que puede proporcionar energía durante un tiempo relativamente prolongado, lo que es ideal en aplicaciones donde se necesita movilidad y autonomía, como en entornos agrícolas.

En este proyecto, la batería de 9V es responsable de alimentar el L298 Motor Drive, un controlador de motores que maneja el motorreductor de 3V-9V, El L298 es capaz de manejar motores con diferentes rangos de voltaje, y al estar conectado a la batería, se asegura que el motor reciba el suministro adecuado para su correcto funcionamiento.

El L298 proporcionará energía directa al Arduino Uno a través del pin VIN, este microcontrolador central gestionará el control del motor ajustando la velocidad y dirección del motor según las necesidades del sistema, la recolección de datos y la transmisión de información mediante el módulo Bluetooth HC-06.

La duración de la batería es un aspecto crítico en este sistema, ya que el dispositivo deberá operar de manera autónoma en un entorno de cultivo, dado que la batería de 9V tiene una capacidad limitada, es importante calcular el consumo total del sistema para determinar la autonomía, los componentes más demandantes, como el motorreductor y el ESP32-CAM, pueden aumentar significativamente el consumo de energía, reduciendo el tiempo operativo del sistema.

El consumo del Arduino UNO en modo activo suele estar en el rango de los 50 mA, mientras que el Módulo Bluetooth HC-06 puede consumir entre 30 y 40 mA en modo activo, dependiendo de si está transmitiendo datos o simplemente en espera, el ESP32-CAM, por otro lado tiene un consumo más elevado, que puede llegar a los 160-240 mA durante la captura de imágenes o la transmisión de datos vía Wi-Fi, el L298 Motor Drive, al controlar el motorreductor, dependerá en gran medida de la carga del motor y la velocidad a la que se esté operando, pero puede llegar a consumir entre 50 y 200 mA en condiciones de trabajo típicas.

VI-G1. Cálculo total del consumo energético : El sistema eléctrico del robot agrícola incluye componentes de corriente continua cada uno con su rango de operación y un consumo energético, estos rangos de operación son los siguientes:

- Arduino UNO: 50 mA a 5V.
- Módulo Bluetooth HC-06: 40 mA a 3.3V
- ESP32-CAM: 200 mA a 5V.
- L298 Motor Drive y motorreductor: 100 mA a un rango de 3V a 9V.
- Batería 9V: 600mAh

Al sumar los consumos de estos componentes en sus modos activos, podemos hacer una estimación del consumo total del sistema utilizando la “ecuación 1”:

$$I_{\text{total}} = I_{\text{Arduino}} + I_{\text{Bluetooth}} + I_{\text{ESP32-cam}} + I_{\text{Motor y L298}} \quad (1)$$

$$I_{\text{total}} = 50 \text{ mA} + 40 \text{ mA} + 200 \text{ mA} + 100 \text{ mA} = 390 \text{ mA} \quad (2)$$

Para obtener el tiempo total de uso del robot, utilizaremos la “ecuación 3”.

$$t = \frac{C_{\text{batería}}}{I_{\text{total}}} \quad (3)$$

$$t = \frac{600 \text{ mAh}}{390 \text{ mA}} = 1,54 \text{ horas} \quad (4)$$

El consumo total es un valor crucial a tener en cuenta al seleccionar la batería, ya que influirá directamente en la autonomía del sistema, por lo tanto, bajo estas condiciones de consumo continuo de 390 mA, la batería de 600 mAh duraría aproximadamente 1.54 horas.

VI-G2. Desarrollo del sistema Control en el Robot agrícola : En el sistema de control del Robot agrícola utilizaremos un Arduino Uno, este es un microcontrolador ampliamente utilizado en sistemas de prototipado y desarrollo de soluciones tecnológicas, por su facilidad de programación, bajo costo y versatilidad, en este proyecto, cuyo objetivo es el diseño de una aplicación para la detección de plantas con anomalías en cultivos de pimientos.

El Arduino UNO se emplea como el elemento central del sistema eléctrico, encargado de coordinar las funciones de control de motores, comunicación inalámbrica y procesamiento de señales de los distintos sensores y módulos del sistema, este proyecto permite la integración eficiente de diversos componentes electrónicos, garantizando una implementación sencilla y efectiva en un entorno agrícola.

Es el controlador principal, encargado de gestionar las señales de entrada y salida entre los diversos componentes, como el módulo Bluetooth HC-06, el controlador de motores L298, y mediante este se puede programar la cámara ESP32-CAM, además su capacidad de procesar los datos en tiempo real, a través de sus pines de entrada y salida, lo convierte en el cerebro del sistema, asegurando una operación coordinada y eficiente.

El uso de este controlador corresponde a la necesidad de contar con un microcontrolador (ATmega328p) capaz de gestionar de manera centralizada la operación de diversos componentes electrónicos, este microcontrolador se caracteriza por su bajo consumo energético, su facilidad de programación mediante el entorno Arduino IDE “figura 31”, y su amplia compatibilidad con bibliotecas desarrolladas por la comunidad de código abierto, estos factores lo convierten en una opción ideal para aplicaciones en las que es necesario integrar múltiples dispositivos, donde se combinan motores, módulos de comunicación inalámbrica, y cámaras de visión artificial.



Figura 31. Entorno Arduino IDE

Una de las principales razones para la elección del Arduino Uno es su capacidad de expansión, lo que la hace compatible con una amplia gama de módulos y sensores que pueden añadirse al sistema en futuras fases de desarrollo, lo que ofrece una flexibilidad significativa, esto es especialmente relevante en el contexto de los cultivos de pimientos, donde el sistema podría expandirse para incluir sensores de humedad del suelo, temperatura ambiente o incluso sensores de gases que monitoreen el estado de las plantas.

El entorno de desarrollo del Arduino IDE permite una programación sencilla y accesible, al estar basado en el lenguaje C/C++, el código que se implementa es eficiente y fácil de mantener, para este proyecto, la capacidad de controlar el hardware a nivel de software de manera simple pero efectiva es una de las principales ventajas, dado que se requiere un sistema robusto que funcione en tiempo real transmitiendo datos de manera continua.

La interacción del Arduino UNO con el resto de los componentes del sistema es fundamental para garantizar una operación coordinada, su integración con L298 Motor permite controlar la velocidad y dirección de los motores mediante señales PWM y digitales, este aspecto es crucial para garantizar que el robot pueda desplazarse de manera controlada, por otro lado, el módulo Bluetooth HC-06 se utiliza como una interfaz de mando para controlar el robot desde un dispositivo móvil, esto proporciona un control remoto sencillo, lo cual es esencial para la operación del sistema en el campo, la interacción entre el Arduino UNO y el módulo Bluetooth ,como se muestra en la “figura 32 ” permite recibir comandos que ajustan el comportamiento del robot, como su desplazamiento, proporcionando al usuario una experiencia de control accesible y directa.

En la gestión de imágenes para la detección de anomalías en los cultivos de pimientos el Arduino fue utilizado para programar el ESP32-CAM y que este transmita las imágenes a una computadora, esta parte del sistema fue implementada de manera independiente.

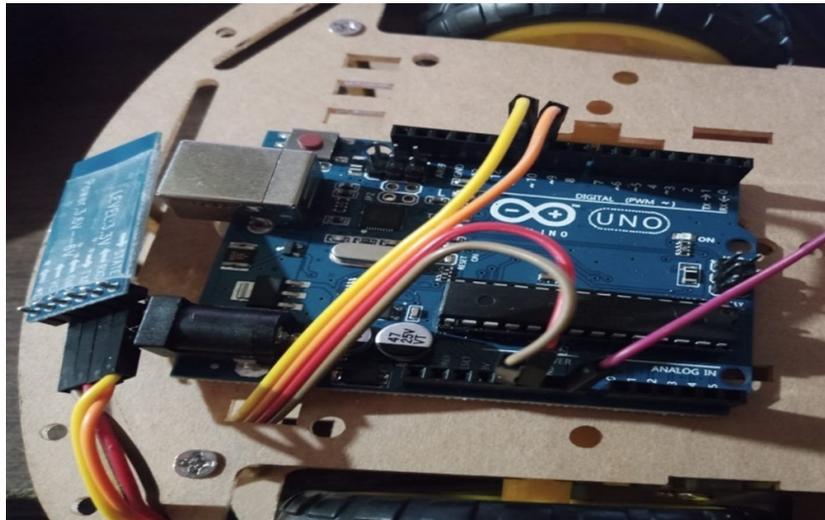


Figura 32. Interacción de los Pines UART con el módulo bluetooth

Una de las funciones principales del Arduino Uno es controlar el movimiento del robot a través del L298 Motor Drive, un controlador de motores de doble puente H, este módulo permite manejar la velocidad y dirección de los motores, lo cual es crucial para que el robot pueda desplazarse y posicionarse adecuadamente en el cultivo, cubriendo el área necesaria para la detección de anomalías en las plantas.

El Arduino uno se conecta al L298 Motor Drive a través de sus pines digitales utilizando señales PWM (modulación por ancho de pulso) “figura 33”, para regular la velocidad de los motores, las señales digitales permiten cambiar la dirección de rotación de los motores, lo que garantiza la capacidad del robot de moverse hacia adelante, atrás o girar, este nivel de control es vital en entornos agrícolas donde el robot debe desplazarse de manera precisa para capturar imágenes de diferentes plantas y detectar posibles anomalías.

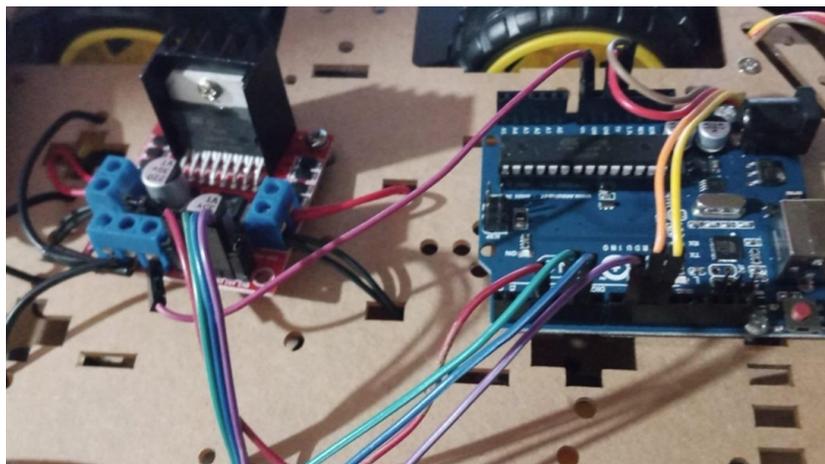


Figura 33. Conexión del Arduino uno al L298 Motor Drive

El uso del Arduino para gestionar estos movimientos asegura que el consumo energético sea controlado y que los motores solo operen cuando es necesario, prolongando la vida útil de la batería del sistema.

El sistema de mando del robot está basado en el módulo Bluetooth HC-06, que se comunica con el Arduino Uno a través de una conexión serial, este módulo actúa como una interfaz de comunicación inalámbrica, permitiendo que el robot sea controlado a distancia mediante un dispositivo móvil o una computadora, el Arduino recibe comandos desde el módulo Bluetooth, que se procesan para activar el movimiento de los motores.

Esta funcionalidad es esencial en un entorno agrícola, ya que el operador puede ajustar la posición del robot desde una ubicación remota sin necesidad de interacción directa con el dispositivo, el Arduino Uno se encarga de interpretar los comandos recibidos y ejecutarlos en tiempo real, ajustando la velocidad y dirección del robot según las necesidades del operador.

El robot también incorpora una ESP32-CAM, encargada de capturar imágenes de las plantas para posteriormente realizar el análisis de anomalías mediante técnicas de visión artificial, aunque la ESP32-CAM posee su propio procesador para la captura y procesamiento de imágenes, el Arduino Uno es utilizado en el sistema para programar la transmisión de imágenes hacia una computadora.

VI-G3. Proceso de vinculación y transmisión de datos: El Módulo Bluetooth HC-06 es un componente esencial en este proceso, pues permite la comunicación inalámbrica entre el sistema y un dispositivo externo, como un teléfono móvil, como se muestra en la “figura 34”, esta capacidad de comunicación es clave para controlar el robot a distancia, otorgando flexibilidad en la operación dentro del entorno agrícola y facilitando el manejo del robot en tiempo real.



Figura 34. Comunicación inalámbrica entre el módulo Bluetooth y el teléfono

La transmisión de datos sigue un formato asíncrono, lo que significa que no se requiere una señal de reloj común entre el transmisor y el receptor, esto simplifica el diseño del sistema, ya que los datos se envían en un formato de bits en serie, con un bit de inicio, los bits de datos, y un bit de parada, además la velocidad de transmisión de datos, o tasa de baudios, está predeterminada en 9600 baudios, aunque esta configuración puede ajustarse.

La inclusión del Módulo Bluetooth HC-06 simplifica enormemente la interfaz de usuario y reduce la complejidad del sistema de control, en lugar de tener que diseñar o implementar interfaces físicas adicionales, el uso de Bluetooth permite que cualquier dispositivo compatible con la tecnología pueda actuar como controlador remoto del robot, lo que minimiza los costos de desarrollo y permite una mayor versatilidad operativa.

Por lo general el HC-06 ofrece un bajo retardo en la transmisión de datos, lo que asegura que las órdenes enviadas desde el dispositivo maestro se ejecuten casi en tiempo real, esto es esencial en aplicaciones como el control de robots, donde se requiere una respuesta rápida a los comandos para realizar tareas de manera eficiente.

Una vez que el HC-06 ha sido emparejado con un dispositivo maestro, la conexión se restablecerá automáticamente siempre que ambos dispositivos estén encendidos y dentro del rango de operación, este proceso de reconexión automática ahorra tiempo y mejora la eficiencia del sistema.

VI-H. Control de movimiento de los motores

En el control de los motores utilizamos el L298 Motor Drive, como se muestra en la “figura 35”, este es un componente clave para el control de movimiento del robot, la locomoción precisa y controlada es esencial para el correcto desarrollo de las tareas automatizadas en el robot diseñado para la detección de plantas con anomalías en cultivos de pimientos, este dispositivo permite gestionar de manera eficiente el movimiento de los motores de corriente continua (DC), que son los responsables de mover el robot a lo largo y ancho del campo de cultivo.



Figura 35. L298 Motor Drive

El L298 es un controlador de motor de doble puente en H, ampliamente conocido por su capacidad de controlar dos motores de manera independiente esta funcionalidad le permite realizar maniobras complejas, como robots móviles utilizados en entornos agrícolas, además el doble puente en H controla tanto la velocidad como la dirección de los motores, lo que da al robot la capacidad de realizar giros precisos y ajustarse a las condiciones del terreno de este modo, puede moverse con exactitud entre las hileras de plantas y alcanzar diferentes áreas del cultivo sin causar daño.

Su capacidad de controlar directamente los motores DC, garantiza que el robot mantenga una fuerza de empuje y tracción constante, necesaria para moverse sobre superficies irregulares del campo, esto permite un control preciso sobre la velocidad y la dirección de los motores, el controlador asegura que el robot pueda adaptarse dinámicamente a los cambios de condiciones del terreno, como laderas, suelos blandos o zonas donde las plantas están más densamente cultivadas.

Corriente máxima de salida

El L298 Motor Drive es capaz de manejar una corriente de salida máxima de 2 amperios por canal, esto significa que puede controlar motores que consumen hasta 2A por motor, lo que es suficiente para los motores de corriente continua utilizados en el robot agrícola, que operan en un rango de 3V a 9V. Esta capacidad de corriente asegura que el controlador puede manejar el esfuerzo necesario para mover el robot por terrenos difíciles o irregulares sin sobrecalentarse o fallar, es importante, ya que el robot agrícola puede encontrarse con resistencias en el terreno, como raíces, piedras o desniveles, que requieren una mayor potencia para mantener el movimiento sin interrupciones.

Interfaz de control

El L298 Motor Drive utiliza una interfaz de control lógica sencilla, basada en pines digitales, que permite una fácil integración con microcontroladores como el Arduino Uno, la interfaz está diseñada para recibir señales de control desde el Arduino, que incluyen comandos de velocidad y dirección a través de la modulación por ancho de pulso (PWM).

El controlador tiene pines de habilitación que permiten activar o desactivar los motores en función de las señales que recibe, lo que permite una operación eficiente y controlada, este tipo de integración es importante en el diseño del sistema eléctrico del robot, ya que permite al Arduino Uno manejar con precisión las operaciones del motor a través de un esquema de control sencillo pero eficaz.

Capacidades de disipación de calor

El L298 Motor Drive incluye un disipador de calor “figura 36”, este se encuentra integrado para ayuda a gestionar el calor generado durante el funcionamiento, especialmente cuando los motores están operando a plena capacidad, en entornos exigentes como el agrícola, donde el robot puede estar operando durante largos períodos, esta capacidad de disipar calor es fundamental para evitar sobrecalentamientos que podrían afectar el rendimiento o la longevidad del controlador y los motores.



Figura 36. Disipador de calor

Conexión con el Arduino Uno

La conexión entre el Arduino Uno y el L298 Motor Drive se realiza a través de una serie de pines digitales y analógicos, los pines digitales del Arduino envían señales a los pines de control del L298 para determinar la dirección de los motores, mientras que las señales PWM (modulación por ancho de pulso) controlan la velocidad de los motores.

El Arduino Uno tiene la capacidad de generar estas señales de control a través de su programación, utilizando funciones específicas para el manejo de los motores, el uso de señales PWM permite variar la velocidad de los motores, lo que es crucial para adaptar la velocidad del robot en función de las condiciones del terreno y la precisión requerida en las maniobras.

Comunicación con el módulo Bluetooth HC-06

El L298 Motor Drive también está integrado indirectamente con el módulo Bluetooth HC-06, ya que las señales que determinan el movimiento del robot son transmitidas de manera inalámbrica desde un dispositivo móvil al Arduino Uno, a través del módulo HC-06, el operador del robot puede enviar comandos para controlar la dirección y la velocidad del robot, el Arduino Uno recibe estos comandos y, en consecuencia, ajusta las señales que envía al L298 Motor Drive para mover los motores según lo solicitado.

Protección y seguridad del sistema

La integración del L298 Motor Drive con el sistema de control del robot también incluye medidas de protección para garantizar la seguridad tanto del robot como de los cultivos el controlador cuenta con protección contra sobrecorriente, lo que significa que, en caso de que uno de los motores encuentre una resistencia significativa o se sobrecargue, el L298 puede cortar la corriente para evitar daños en los motores o en el sistema eléctrico, este tipo de protección es esencial en el campo, donde el robot puede encontrar obstáculos que causen que los motores se sobrecarguen temporalmente.

Desplazamiento del Robot Agrícola

En el diseño del sistema eléctrico del robot agrícola, el motorreductor de 3V-9V “figura 37” es el encargado de transformar la energía eléctrica en movimiento mecánico eficiente, permitiendo el desplazamiento del robot a través de los cultivos de pimientos este componente combina las funciones de un motor eléctrico con un reductor de velocidad, lo que le confiere la capacidad de ofrecer un torque elevado a velocidades reducidas, una característica crucial en entornos agrícolas, su uso permite una operación más controlada y precisa, lo que resulta indispensable en escenarios donde el robot debe maniobrar entre hileras de plantas sin dañarlas o al enfrentarse a terrenos irregulares.



Figura 37. Motorreductor de 3V-9V

El rango de voltaje de 3V a 9V hace que este motorreductor sea altamente versátil y compatible con las fuentes de alimentación utilizadas en el diseño del sistema, como las baterías de 9V, este aspecto del diseño permite ajustar la velocidad del robot según las necesidades del entorno o las tareas que deba realizar en terrenos accidentados o cuando el robot debe realizar maniobras delicadas entre las plantas, se puede operar a un voltaje más bajo para asegurar una mayor precisión y control del movimiento, por otro lado, en superficies más planas o en situaciones donde se requiere un mayor desplazamiento, se puede utilizar un voltaje más elevado para aumentar la velocidad del robot, lo que optimiza la eficiencia operativa.

La integración de un reductor de velocidad dentro del motor es una de sus principales ventajas, ya que este mecanismo permite aumentar significativamente el torque del motor, este alto torque es indispensable en aplicaciones agrícolas, donde el robot puede encontrarse con obstáculos físicos, como raíces o desniveles, que requieren una mayor fuerza para superarse además, el control preciso del torque y la velocidad facilita el manejo del robot en terrenos difíciles, lo que contribuye a evitar daños tanto al sistema como a los cultivos.

La compatibilidad del motorreductor con el controlador L298 Motor Drive es otro punto destacado dentro del diseño del sistema eléctrico, este controlador, integrado en el sistema, permite gestionar de manera eficiente la corriente y el voltaje necesario para el funcionamiento del motorreductor, el Arduino UNO actúa como el cerebro del sistema, enviando señales al L298 Motor Drive para ajustar la velocidad y dirección de los motores, lo que garantiza un control preciso del movimiento del robot en función de las demandas del entorno agrícola, esta configuración permite una interacción fluida entre el motorreductor y los otros componentes del sistema eléctrico, asegurando un funcionamiento óptimo.

VI-I. Procesamiento y resolución de imagen

En el procesamiento de imagen el ESP32-CAM es uno de los elementos clave en el diseño del sistema para la detección de anomalías en cultivos de pimientos, este módulo combina las capacidades de procesamiento del ESP32 y un microcontrolador con la funcionalidad de una cámara digital.

Esto la hace necesaria para capturar imágenes de las plantas a medida que el robot se desplaza por el campo, proporcionando datos visuales que luego se utilizan en la detección de anomalías a través de técnicas de procesamiento de imágenes y redes neuronales convolucionales.

El componente tiene también capacidades para procesar directamente en el dispositivo, esto se puede lograr mediante la implementación de algoritmos de visión por computadora sencillos que permiten filtrar y preprocesar las imágenes antes de enviarlas a una computadora o servidor para análisis más profundo.

El uso del ESP32-CAM simplifica considerablemente la arquitectura del sistema eléctrico, además el módulo es capaz de realizar tareas complejas de procesamiento de imágenes sin necesidad de hardware adicional, lo que reduce el número de componentes en el sistema y, en consecuencia, el peso total y el consumo de energía del robot, la integración de una cámara directamente en el módulo minimiza la necesidad de interconectar múltiples dispositivos, lo que también contribuye a la simplicidad del diseño.

En cuanto a la captura de imágenes, la ESP32-CAM soporta resoluciones de hasta 1600x1200 píxeles “figura 38”, lo que proporciona imágenes suficientemente detalladas para la detección de anomalías en las plantas, las imágenes capturadas se pueden procesar utilizando algoritmos de visión por computadora, que son cruciales para la identificación de irregularidades en el desarrollo de las plantas, además este módulo es capaz de transmitir imágenes en tiempo real a través de una conexión Wi-Fi, permitiendo que el sistema envíe datos a una computadora para su procesamiento o almacenamiento.

esp32cam WifiCam example

BMP	JPG	MJPEG
96x96	96x96	96x96
160x120	160x120	160x120
176x144	176x144	176x144
240x176	240x176	240x176
240x240	240x240	240x240
320x240	320x240	320x240
400x296	400x296	400x296
480x320	480x320	480x320
640x480	640x480	640x480
800x600	800x600	800x600
1024x768	1024x768	1024x768
1280x720	1280x720	1280x720
1280x1024	1280x1024	1280x1024
1600x1200	1600x1200	1600x1200

Figura 38. Resoluciones de la ESP-32 CAM

El módulo cuenta con una ranura para tarjetas microSD “figura 39”, lo que permite almacenar localmente las imágenes capturadas, esta capacidad puede ser utilizada cuando el robot está fuera del rango de comunicación Wi-Fi o si es necesario guardar un respaldo de las imágenes para análisis posteriores.

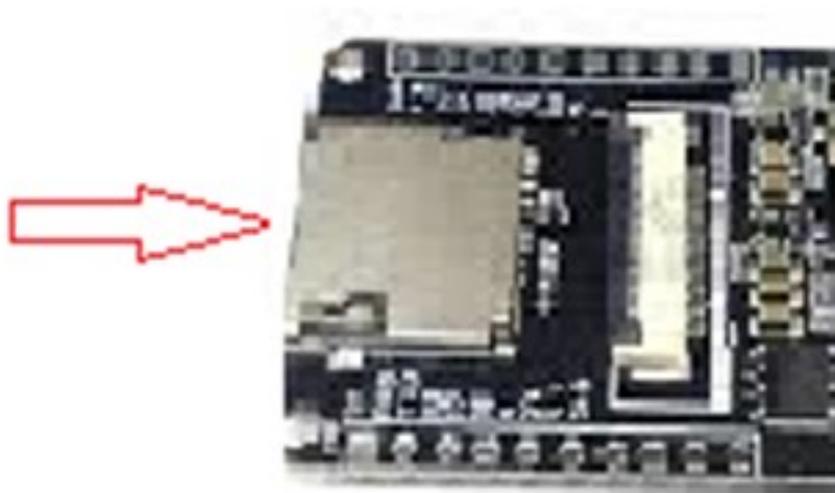


Figura 39. Ranura para tarjetas microSD

Conectividad y Visualización Web

La capacidad del ESP32-CAM para establecer redes Wi-Fi independientes o conectarse a redes existentes del sistema eléctrico, esto implica que el módulo puede ser configurado como un punto de acceso (Access Point), permitiendo que otros dispositivos se conecten directamente a él sin necesidad de un router o infraestructura externa, además el ESP32-CAM permite visualizar las imágenes capturadas en tiempo real a través de un navegador web “figura 40” en cualquier dispositivo conectado.

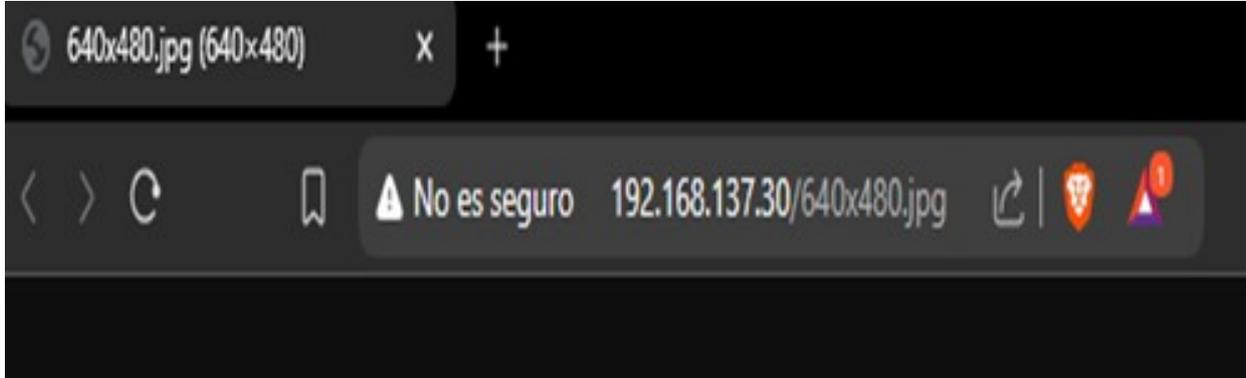


Figura 40. Navegador web donde se captan las imágenes

Este tipo de conectividad tiene implicaciones en la arquitectura del sistema, ya que reduce la dependencia de hardware adicional para la transmisión de datos, de esta manera podemos operar el robot de manera autónoma, y el sistema puede ser monitoreado a distancia utilizando un teléfono móvil o una computadora.

Desempeño en ambientes exteriores

La resistencia del ESP32-CAM a las condiciones ambientales exteriores es un factor que debemos considerar, el robot al tener que operar en campos de cultivo, es probable que esté expuesto a cambios de temperatura, humedad y polvo, si bien el módulo no está diseñado específicamente para ser resistente a estos factores, su capacidad de trabajar en un rango de temperaturas moderadas y su eficiencia energética lo hacen una opción viable cuando se combinan con una protección externa adecuada, como carcasas selladas que protejan los componentes del clima.

Compatibilidad de la ESP-32 CAM con inteligencia artificial

La característica principal del ESP32-CAM es su capacidad para soportar la implementación de algoritmos de inteligencia artificial (IA), lo que le permite procesar datos de manera eficiente y realizar inferencias en tiempo real directamente en el dispositivo, la integración del IA para la detección de anomalías en plantas de pimientos es crucial para automatizar el proceso de identificación de irregularidades en el cultivo, como enfermedades, deficiencias nutricionales o daños causados por plagas.

El uso de la plataforma Roboflow, combinada con el ESP32-CAM, permite entrenar modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) que analizan las imágenes capturadas por el módulo de la cámara, Roboflow facilita la preparación de datos mediante la anotación y el etiquetado de imágenes de plantas con diferentes tipos de anomalías “figura 41”, lo que genera un conjunto de datos bien estructurado y optimizado para el entrenamiento de modelos de visión por computadora.

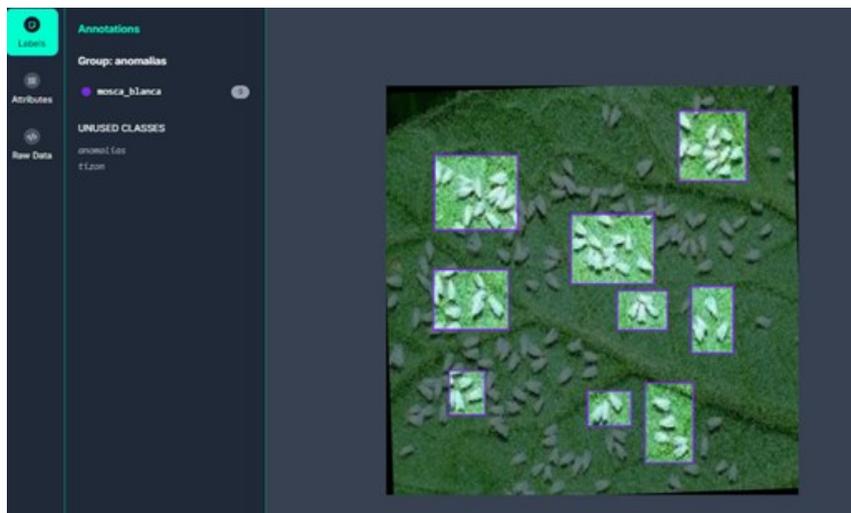


Figura 41. Anotación y el etiquetado de imágenes

VI-J. Implementación del sistema eléctrico

En la implementación del sistema eléctrico de un robot agrícola como el desarrollado para la detección de anomalías en cultivos de pimientos, la correcta integración y gestión de la fuente de energía es crucial, la batería de 9V actúa como la fuente principal de alimentación, como se muestra en la “figura 42”, asegurando el suministro de energía a los diferentes componentes electrónicos, como el Arduino UNO, el L298 Motor Drive, el Módulo Bluetooth HC-06, y la ESP32-CAM.

la implementación adecuada de la batería no solo garantiza el funcionamiento estable del sistema, sino que también optimiza la eficiencia energética y maximiza la autonomía del robot durante sus operaciones en campo.

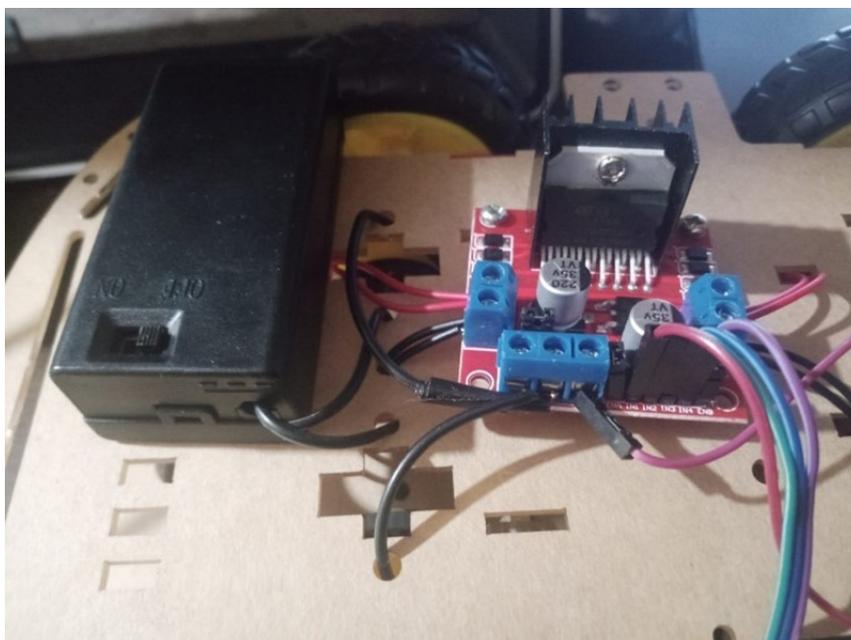


Figura 42. Implementación de la batería de 9V en el sistema eléctrico

Para la implementación fue necesario seleccionar una batería adecuada que cumpla con los requisitos energéticos de todo el sistema, la batería de 9V fue elegida debido a su tamaño compacto y capacidad de proporcionar una corriente constante que satisface las demandas de los componentes integrados, además, su facilidad de reemplazo y su amplia disponibilidad en el mercado hacen de esta batería una opción eficiente para proyectos móviles y de bajo consumo energético como el robot agrícola.

Una vez seleccionada la batería, se procede a diseñar el esquema de distribución de energía, para esto es necesario tener en cuenta el consumo energético de cada componente y la forma en que la energía se distribuye a través del sistema, el Arduino UNO, que actúa como el cerebro del sistema, requiere una entrada de entre 5V y 12V para su funcionamiento óptimo, lo que permite que la batería de 9V sea una opción ideal para su alimentación.

En la implementación de la batería de 9V, esta asegura una conexión firme y fiable entre la batería y el resto del sistema eléctrico, el cable positivo de la batería se conecta al pin 12V del el L298 Motor Drive, mientras que el cable negativo se conecta a la tierra (GND), esta configuración permite que regule la distribución de energía a los otros componentes del sistema, como el Arduino, de esta manera, se centraliza el control del flujo energético, evitando sobrecargas o picos de voltaje que podrían dañar los circuitos.

Mantenimiento y reemplazo

La batería de 9V es fácilmente extraíble, lo que permite su reemplazo rápido en caso de que se agote durante las operaciones del robot, además, se recomienda un mantenimiento regular para maximizar la vida útil de la batería, a pesar de la facilidad de uso, es importante tener en cuenta que el uso constante de baterías desechables puede generar un mayor costo a largo plazo y un impacto ambiental considerable, por ello, es fundamental establecer un plan de gestión y reciclaje adecuado para las baterías agotadas, de manera que se minimice su efecto negativo en el medio ambiente.

VI-J1. Implementación del sistema de control: En el sistema de control el Arduino Uno es un componente fundamental en el robot agrícola, ya que actúa como el controlador central que gestiona el funcionamiento de otros dispositivos conectados, como el L298 Motor Drive, el Módulo Bluetooth HC-06, su implementación se centra en proporcionar la lógica y el control necesarios para las funciones del robot, como el movimiento, la transmisión de datos y la comunicación entre componentes.

El Arduino UNO desempeña el papel de controlador principal para los motores conectados a través del L298 Motor Drive este puente entre el controlador y los motores permite que el robot se desplace por el campo de cultivo, siguiendo comandos específicos enviados desde el Módulo Bluetooth HC-06. Las señales de control enviadas por el Arduino UNO determinan la dirección y la velocidad de los motores de corriente continua, lo que permite al robot navegar en el entorno del cultivo de pimientos.

Control de motores y dispositivos periféricos

En el sistema eléctrico, el Arduino UNO desempeña un papel central en la gestión y control de los motores de corriente continua (DC), este control eficiente es esencial para la movilidad del robot en el campo de cultivo, así como para la interacción entre los distintos componentes del sistema, como el Módulo Bluetooth HC-06.

El control de los motores del robot se realiza mediante el L298 Motor Drive, un controlador de doble puente H que permite al Arduino UNO manejar dos motores de corriente continua de forma simultánea, el Arduino UNO puede controlar tanto la dirección como la velocidad de los motores, lo que resulta en un sistema de movimiento flexible y preciso.

El Arduino UNO envía señales digitales al L298 Motor Drive, que determinan si los motores deben moverse hacia adelante o hacia atrás, esta capacidad de controlar la dirección es fundamental para que el robot pueda navegar por el terreno del cultivo, evitando obstáculos y ajustando su trayecto de acuerdo con las necesidades del sistema de control.

El Arduino UNO también es capaz de regular la velocidad de los motores utilizando la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM), la modulación PWM permite controlar la potencia promedio entregada a los motores, el Arduino UNO genera señales PWM desde sus pines de salida, las cuales son procesadas por el L298 Motor Drive para ajustar la potencia suministrada a los motores.

El Arduino UNO gestiona la comunicación con el HC-06 a través de su interfaz UART, permitiendo que el usuario controle remotamente el movimiento del robot, a través de comandos Bluetooth, el usuario puede enviar instrucciones al Arduino UNO, tales como avanzar, retroceder y girar.

VI-J2. Implementación del sistema de comunicación Bluetooth: El Módulo Bluetooth HC-06 desempeña un papel fundamental en el sistema eléctrico del robot agrícola diseñado para la detección de plantas con anomalías en cultivos de pimientos la implementación de este componente en el sistema permite la comunicación inalámbrica entre el robot y el dispositivo de control como un teléfono, facilitando el manejo remoto del robot en el campo.

La implementación inicial del módulo implica realizar las conexiones eléctricas adecuadas entre el HC-06 y el Arduino UNO, que son las siguientes:

- Pin VCC del HC-06 se conecta al pin 5V del Arduino UNO.
- Pin GND del HC-06 se conecta al pin GND del Arduino UNO.
- Pin TX del HC-06 se conecta al pin RX del Arduino UNO (pin digital 11).
- Pin RX del HC-06 se conecta al pin TX del Arduino UNO (pin digital 10).

Establecidas las conexiones físicas, se procede a la configuración de los parámetros de comunicación entre el HC-06 y el Arduino UNO, el módulo HC-06 está preconfigurado para comunicarse a una velocidad de 57600 baudios, lo cual es compatible con el Arduino UNO, para asegurar el funcionamiento estable del Módulo Bluetooth HC-06, se utiliza la fuente de alimentación del L298 Motor Drive, que extrae energía de las baterías desechables de 9V utilizadas en el robot, la corriente suministrada por el L298 Motor Drive se deriva hacia el Arduino UNO, y desde allí, se alimenta el HC-06 a través del pin 5V.

Programación y Vinculación con el módulo de comunicación Bluetooth

La programación del HC-06 para que pueda vincularse con dispositivos externos de manera efectiva el HC-06 está diseñado para ser fácilmente visible y detectable por otros dispositivos Bluetooth, lo que facilita el proceso de emparejamiento, una vez que el módulo es detectado, se ingresa un código PIN predefinido comúnmente "1234.º" "0000" para completar la vinculación, después de vincularse, el módulo establece un canal de comunicación serie entre el dispositivo controlador y el Arduino UNO, en este proceso, se utilizó una aplicación en el dispositivo controlador, como se muestra en la "figura 43" que permite al usuario conectarse rápidamente al módulo Bluetooth para enviar comandos y recibir retroalimentación en tiempo real.



Figura 43. Aplicación para el movimiento del robot agrícola

Realizada la implementación física y la programación, se lleva a cabo pruebas iniciales para verificar la conectividad entre el HC-06 y los dispositivos móviles, estas pruebas consistieron en asegurar que el módulo respondiera adecuadamente a los comandos recibidos y que no hubiera pérdida de señal o interrupciones en la comunicación a distancias razonables.

VI-J3. Implementación del sistema de control de los motores del Robot: En el sistema de control de motores es necesario utilizar el L298 Motor Drive, este componente es el encargado de controlar los motores de corriente continua (DC) que permiten el movimiento del robot en el campo de cultivo, su implementación es fundamental para garantizar una respuesta rápida y eficiente a los comandos de movimiento enviados a través del Módulo Bluetooth HC-06, todo bajo el control del Arduino Uno.

La primera etapa de la implementación del L298 Motor Drive implica conectar este módulo al Arduino UNO y a los motores del robot, asegurando que el flujo de corriente sea el adecuado para que los motores puedan funcionar correctamente, para ello se realiza la siguiente conexión, Pin IN1, IN2, IN3, y IN4 se conectan a los pines digitales del Arduino UNO estos pines se utilizan para controlar la dirección de los motores, determinando si deben girar hacia adelante o hacia atrás.

Los motores se conectan a las salidas del L298 Motor Drive en los pines OUT1, OUT2, OUT3, y OUT4. Estas conexiones permiten la entrega de energía a los motores para su funcionamiento.

El control de los motores mediante el L298 Motor Drive se logra a través de la señal enviada desde el Arduino UNO para esta implementación, se programaron varias funciones en el código del Arduino UNO que determinan cómo se activan los motores, basadas en los comandos recibidos desde el Módulo Bluetooth HC-06.

El L298 Motor Drive no solo controla los motores, sino que también actúa como fuente de alimentación para el Arduino Uno, en esta implementación, la batería de 9V alimenta directamente al L298, y de allí se extraen 5V para alimentar al Arduino Uno, lo que asegura una distribución eficiente de la energía dentro del sistema eléctrico.

La implementación del L298 Motor Drive en el diseño del sistema eléctrico está directamente relacionada con la arquitectura de control del robot, a través de la interacción con el Módulo Bluetooth HC-06, el Arduino Uno recibe comandos de movimiento que luego son traducidos en señales de control para el L298, este proceso asegura que los motores reciban la energía adecuada y se activen o desactiven según sea necesario.

La ventajas del módulo L298 Motor Drive mediante su control bidireccional permite controlar la dirección de rotación de los motores, lo que es crucial para realizar movimientos precisos en todas las direcciones, además tiene la capacidad de manejar motores de mayor corriente, esto significa que puede manejar corrientes de hasta 2A por canal, lo que lo hace adecuado para controlar motores que requieren más potencia.

VI-J4. Implementación de control de velocidad de los motores: Los motores que se utilizaran para el desplazamiento de robot será el motorreductor de 3V-9V, este componente es esencial en el sistema de locomoción del robot agrícola, ya que convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico controlado, además el motorreductor está conectado directamente al L298 Motor Drive, que se encarga de gestionar su alimentación y control.

Los terminales de entrada del motorreductor están conectados a las salidas del L298 Motor Drive en los pines OUT1 y OUT2 para un motor o OUT3 y OUT4 para un segundo motor. Esto permite que el motorreductor reciba la corriente necesaria para su funcionamiento desde el controlador de motores.

El Arduino Uno, a través del L298 Motor Drive, controla la dirección y velocidad del motorreductor mediante señales digitales que determinan la polaridad de la corriente que llega al motor, esto habilita el control del movimiento del robot, permitiendo que avance, retroceda y gire según las instrucciones del sistema de control.

El utilizar un motorreductor nos da la capacidad de ajustar tanto la velocidad como el torque del motor, lo que es crucial para el desempeño del robot en el campo, a través del L298 Motor Drive y el control desde el Arduino UNO, se puede variar la velocidad de rotación del motorreductor ajustando el voltaje de entrada y la frecuencia de las señales PWM (modulación por ancho de pulso) enviadas al motor.

El ajuste del torque es igualmente importante, ya que permite que el motorreductor entregue la fuerza necesaria para mover el robot con estabilidad en diferentes condiciones, esto es ideal en entornos agrícolas donde el robot puede enfrentar superficies desiguales o incluídas.

- Bajo voltaje (3V-5V): En esta configuración, el motorreductor gira a menor velocidad, pero con un mayor torque, lo que es útil para maniobras precisas o cuando el robot necesita superar pequeños obstáculos.

- Voltaje intermedio (6V-7V): Aumentar el voltaje incrementa la velocidad del motorreductor sin comprometer significativamente el torque, proporcionando un equilibrio adecuado para el movimiento en superficies planas.

- Voltaje máximo (8V-9V): A máxima alimentación, el motorreductor alcanza su mayor velocidad de rotación, ideal para cubrir distancias rápidamente en terrenos planos y despejados, sin embargo, el torque es algo menor, lo que puede limitar su capacidad para moverse con cargas pesadas o en terrenos más irregulares.

Control de Dirección y Movimiento del Robot

El control del motorreductor en el sistema se lleva a cabo mediante las señales enviadas por el Arduino UNO al L298 Motor Drive, que determina la dirección de rotación del motor, para implementar este control, se configuraron varias funciones en el código del Arduino Uno que permiten modificar el sentido de giro y la velocidad del motorreductor, de manera similar al control de los otros motores del robot.

Las funciones de control incluyen comandos para que el robot avance, retroceda y gire, lo que se logra invirtiendo la polaridad de la corriente que llega al motorreductor, este mecanismo permite que el robot se mueva en cualquier dirección y que realice maniobras precisas en el campo de cultivo, como evitar obstáculos o seguir una ruta predeterminada.

- **Movimiento hacia adelante:** Se envía una señal para que el motor gire en el sentido de las agujas del reloj, lo que impulsa el robot hacia adelante.

- **Movimiento hacia atrás:** Se invierte la polaridad de la corriente, haciendo que el motor gire en sentido contrario, lo que permite al robot retroceder.

- **Giros y maniobras laterales:** Para realizar giros, se detiene uno de los motores mientras el otro sigue girando, lo que permite al robot girar sobre su propio eje o realizar curvas suaves.

El uso del motorreductor de 3V-9V en el sistema eléctrico del robot agrícola permite que al variar el voltaje y las señales PWM, se puede ajustar la velocidad de movimiento del robot según las necesidades del entorno o las características del terreno, además el motorreductor permite que el robot maneje cargas más pesadas o se desplace sobre terrenos irregulares.

VI-J5. Transmisión de imagen en el sistema de comunicación: El ESP32-CAM es un módulo potente que integra una cámara y capacidades de transmisión de datos mediante Wi-Fi, siendo un componente crucial en el sistema de detección de plantas con anomalías en cultivos de pimientos, este dispositivo se encarga de capturar imágenes y videos del campo de cultivo, los cuales son utilizados para procesar y detectar anomalías a través de algoritmos de inteligencia artificial, integrados mediante la plataforma Roboflow.

El ESP32-CAM requiere una alimentación estable de 5V, la cual en este sistema proviene directamente del L298 Motor Drive, la batería de 9V que alimenta el sistema eléctrico proporciona la energía al L298, y de este controlador se derivan los 5V necesarios para el funcionamiento del ESP32-CAM.

La integración del ESP32-CAM en el sistema eléctrico se centró en asegurar que el módulo recibiera la alimentación adecuada y pudiera realizar sus funciones de captura y transmisión de imágenes de manera eficiente, para la conexión del ESP32-CAM., las ventajas de utilizar este módulos son las siguientes:

- **Captura de imágenes en tiempo real:** El ESP32-CAM proporciona una solución eficiente para capturar imágenes y videos en tiempo real, lo que permite monitorear el estado de las plantas en el campo y detectar anomalías rápidamente.

- **Transmisión inalámbrica de datos:** La capacidad de transmitir datos mediante Wi-Fi elimina la necesidad de cables adicionales, lo que simplifica el diseño del robot y facilita el acceso a la información desde ubicaciones remotas.

- **Compatibilidad con herramientas de inteligencia artificial:** El ESP32-CAM permite capturar datos visuales que son esenciales para el uso de herramientas como Roboflow, que aplican algoritmos de inteligencia artificial para la detección de anomalías en plantas esto proporciona una ventaja significativa en el análisis de los cultivos, permitiendo tomar decisiones informadas basadas en datos visuales procesados en tiempo real.

VI-K. Prueba de componentes del Robot

VI-K1. Prueba de componentes del Robot: El primer conjunto de pruebas se enfocó en la capacidad del sistema de control para manejar el L298 Motor Drive y controlar los motores de corriente continua del robot, las pruebas se llevaron a cabo en diferentes escenarios, como se muestra en la “figura 44” para evaluar tanto la dirección como la velocidad de los motores.



Figura 44. Aplicación para el movimiento del robot agrícola

Dirección de los motores: Se verificó que las señales enviadas por el Arduino UNO permitieran al L298 Motor Drive cambiar la polaridad de los motores, logrando que el robot se moviera hacia adelante, hacia atrás, y girara a izquierda y derecha según las instrucciones recibidas, para ello, se programaron secuencias de movimiento que incluyeron combinaciones de estas direcciones, evaluando la precisión de los giros y el tiempo de respuesta del sistema.

En la primera prueba determinaremos la velocidad promedio y final del auto para recorrer una distancia de 50 metros en un terreno plano, para esto vamos a calcular utilizando la siguiente “ecuación 4”.

$$\text{Velocidad}_{\text{promedio}} = \frac{\text{metros}}{\text{Tiempo}} \quad (4)$$

$$\text{Velocidad}_{\text{plano}} = \frac{50 \text{ m}}{65 \text{ s}} = 0,7692 \text{ m/s} \quad (5)$$

Luego de determinar la velocidad, calcularemos su velocidad final utilizamos la “ecuación 6” y la aceleración utilizando la “ecuación 9” que tendrá nuestro Robot.

$$v_{\text{promedio}} = \frac{V_0 + V_f}{2} \quad (6)$$

$$0,7692 \text{ m/s} = \frac{0 + V_f}{2} \quad (7)$$

$$V_f = 0,7692 \text{ m/s} \times 2 = 1,5384 \text{ m/s} \quad (8)$$

$$a_i = \frac{V_f - V_0}{t} \quad (9)$$

$$a_i = \frac{1,5384 \text{ m/s}}{65 \text{ s}} = 0,0237 \text{ m/s}^2 \quad (10)$$

Tabla IV

TABLA 4. VELOCIDAD DE LOS MOTORES DEL ROBOT EN TERRENO PLANO

Parámetro	Valor
Distancia	50 metros
Velocidad promedio	0.7692 m/s
Tiempo estimado	65 segundos
Velocidad inicial	0 m/s ²
Velocidad final	1.5384 m/s
Aceleración	0.0237m/s ²
Condiciones del terreno	Plano
Condiciones climáticas	Soleado

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

En la segunda prueba determinaremos la velocidad promedio y final del auto para recorrer una distancia de 50 metros en un terreno rocoso, para esto vamos a calcular utilizando la siguiente “ecuación 11 “.

$$\text{Velocidad}_{\text{promedio}} = \frac{\text{metros}}{\text{Tiempo}} \quad (11)$$

$$\text{Velocidad}_{\text{plano}} = \frac{50 \text{ m}}{90 \text{ s}} = 0,555 \text{ m/s} \quad (12)$$

Luego de determinar la velocidad, calcularemos su velocidad final utilizamos la “ecuación 13” y la aceleración utilizando la “ecuación 16” que tendrá nuestro Robot, en entorno rocoso.

$$v_{\text{promedio}} = \frac{V_0 + V_f}{2} \quad (13)$$

$$0,555 \text{ m/s} = \frac{0 - V_f}{2} \quad (14)$$

$$V_f = 0,555 \text{ m/s} \times 2 = 1,11 \text{ m/s} \quad (15)$$

$$a_i = \frac{V_f - V_0}{t} \quad (16)$$

$$a_i = \frac{1,11 \text{ m/s}}{90 \text{ s}} = 0,0123 \text{ m/s}^2 \quad (17)$$

Tabla V

TABLA 5. VELOCIDAD DE LOS MOTORES DEL ROBOT EN TERRENO ROCOSO

Parámetro	Valor
Distancia	50 metros
Velocidad promedio	0.555 m/s
Tiempo estimado	90 segundos
Velocidad inicial	0 m/s ²
Velocidad final	1.11 m/s
Aceleración	0.0123m/s ²
Condiciones del terreno	Rocoso
Condiciones climáticas	Soleado

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

En la tercera prueba determinaremos la velocidad promedio y final del auto para recorrer una distancia de 50 metros en un terreno Herbal, para esto vamos a calcular utilizando las siguientes “ecuación 18 “.

$$\text{Velocidad}_{\text{promedio}} = \frac{\text{metros}}{\text{Tiempo}} \quad (18)$$

$$\text{Velocidad}_{\text{plano}} = \frac{50 \text{ m}}{78 \text{ s}} = 0,641 \text{ m/s} \quad (19)$$

Luego de determinar la velocidad, calcularemos su velocidad final utilizamos la “ecuación 20” y la aceleración utilizando la “ecuación 23” que tendrá nuestro Robot, en este entorno Herbal.

$$v_{\text{promedio}} = \frac{V_0 + V_f}{2} \quad (20)$$

$$0,641 \text{ m/s} = \frac{0 - V_f}{2} \quad (21)$$

$$V_f = 0,641 \text{ m/s} \times 2 = 1,28 \text{ m/s} \quad (22)$$

$$a_i = \frac{V_f - V_0}{t} \quad (23)$$

$$a_i = \frac{1,28 \text{ m/s}}{78 \text{ s}} = 0,0164 \text{ m/s}^2 \quad (24)$$

Tabla VI
TABLA 6. VELOCIDAD DE LOS MOTORES DEL ROBOT EN TERRENO HERBAL

Parámetro	Valor
Distancia	50 metros
Velocidad promedio	0.641 m/s
Tiempo estimado	78 segundos
Velocidad inicial	0 m/s ²
Velocidad final	1.28 m/s
Aceleración	0.0164m/s ²
Condiciones del terreno	Herbal
Condiciones climáticas	Soleado

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

VI-K2. Pruebas de Comunicación entre el Robot y el módulo Bluetooth : Emparejamiento y conexión: Se realizaron pruebas para asegurar que el Módulo Bluetooth HC-06 pudiera emparejarse fácilmente con diferentes dispositivos móviles y mantener una conexión estable durante el funcionamiento del robot, el controlador fue programado para reconocer y responder a los comandos enviados desde estos dispositivos, verificando que los motores reaccionaran de manera inmediata a las instrucciones de movimiento.

Se llevaron a cabo pruebas las cuales se muestran en las tablas 7 y 8 los siguientes parámetros: la fiabilidad en la transmisión y recepción de comandos, la respuesta del robot en diferentes distancias y condiciones, además se observó la consistencia en la ejecución de comandos de movimiento y se midió el tiempo de respuesta del sistema, garantizando que el controlador procesara los datos de manera eficiente y sin interrupciones.

Tabla VII

TABLA 7. PRUEBA 1 DE COMUNICACIÓN ENTRE EL ROBOT Y EL MÓDULO BLUETOOTH

	Dispositivo móvil 1	Dispositivo móvil 2
Tiempo de Emparejamiento con el módulo (segundos)	14	10
Estabilidad de Conexión	media	Alta
Distancia máxima sin interferencia (metros)	8	9
Comentarios Adicionales	Ligero retardo en el emparejamiento	Excelente respuesta a distancia

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

Tabla VIII

TABLA 8. PRUEBA 2 DE COMUNICACIÓN ENTRE EL ROBOT Y EL MÓDULO BLUETOOTH

	Dispositivo móvil 1	Dispositivo móvil 2
Tiempo de Emparejamiento con el módulo (segundos)	11	7
Estabilidad de Conexión	Alta	Alta
Distancia máxima sin interferencia (metros)	6	7
Comentarios Adicionales	Pérdida ocasional de señal a distancias mayores a 6 m	Excelente respuesta a distancia

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

VI-K3. Pruebas de Transmisión y calidad de imagen de la cámara: Pruebas de calidad de imagen: Se realizaron pruebas para verificar que la cámara del ESP32-CAM pudiera capturar imágenes, como se muestra en la “figura 45”, esto fue fundamental para asegurar que las imágenes obtenidas fueran adecuadas para el procesamiento posterior mediante Roboflow.

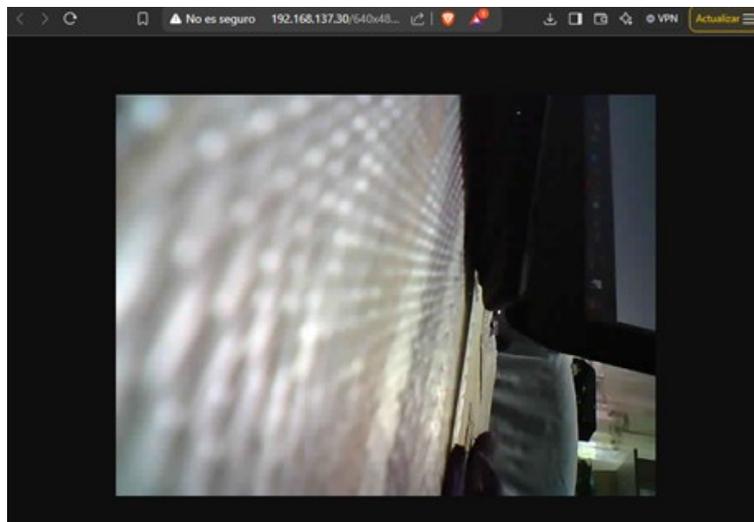


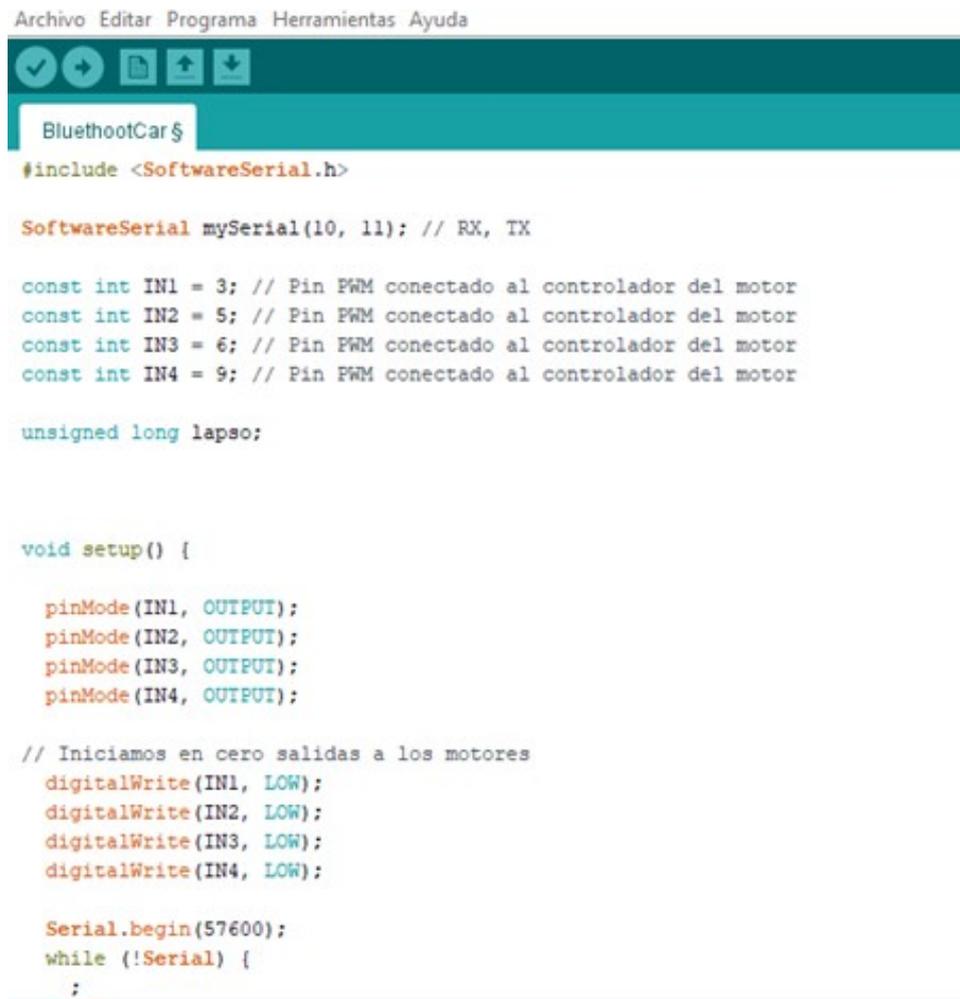
Figura 45. Prueba de la transmisión de imagen mediante ESP32-CAM

Pruebas de conexión Wi-Fi: La estabilidad de la conexión Wi-Fi fue crucial, ya que el módulo debe transmitir las imágenes capturadas en tiempo real o a intervalos regulares. Se verificó la capacidad del ESP32-CAM para mantener una conexión estable en el campo, donde la distancia al punto de acceso podría ser considerable.

VI-L. Desarrollo de Software de Control

El desarrollo del software para el robot agrícola consta con dos programas distintos, cada uno diseñado para cumplir una función específica dentro del sistema, el primero se encarga de gestionar el movimiento del robot, controlando los motores y la comunicación con el usuario a través del módulo Bluetooth HC-06, el segundo software se ocupa de la transmisión de video mediante la ESP32-CAM, permitiendo la captura y el envío de imágenes para la detección de anomalías en los cultivos de pimiento.

El primer software está dedicado a la gestión del movimiento del robot “figura 46”, coordinando el L298 Motor Drive que controla los motores DC, este programa recibe comandos del usuario a través de la conexión Bluetooth, los cuales son procesados por el Arduino Uno, estas instrucciones permiten al usuario mover el robot en diferentes direcciones, este tipo de control asegura que el robot pueda desplazarse en el campo de cultivo.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
BluetoothCar $
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX

const int IN1 = 3; // Pin PWM conectado al controlador del motor
const int IN2 = 5; // Pin PWM conectado al controlador del motor
const int IN3 = 6; // Pin PWM conectado al controlador del motor
const int IN4 = 9; // Pin PWM conectado al controlador del motor

unsigned long lapso;

void setup() {

  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);

  // Iniciamos en cero salidas a los motores
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, LOW);
  digitalWrite(IN3, LOW);
  digitalWrite(IN4, LOW);

  Serial.begin(57600);
  while (!Serial) {
    ;
  }
}
```

Figura 46. Código del control de movimiento del Robot

El segundo software “figura 47” es responsable de la transmisión de video y captura de imágenes a través de la ESP32-CAM, este programa está diseñado para recoger datos visuales del entorno del robot y enviarlos a una computadora donde se procesan utilizando algoritmos de inteligencia artificial, este sistema analiza las imágenes en busca de anomalías en los cultivos, como plagas o enfermedades.

```
Data.py × Reader Mode
1  from ultralytics import YOLO
2  import cv2
3
4  url = 'http://192.168.137.30/640x480.jpg'
5  cap = cv2.VideoCapture(url) # Crear objeto VideoCapture
6
7  winName = 'IP_CAM'
8  cv2.namedWindow(winName, cv2.WINDOW_AUTOSIZE)
9
10 # Cargar el modelo
11 model = YOLO('best.pt')
12
13 while (1):
14
15     cap.open(url) # Antes de capturar el frame abrimos la url
16
17     success, frame = cap.read() # Captura de frame
18     if success:
19         # Ejecutar YOLO
20         results = model(frame, conf=0.5)
21         # Visualizar
22         annotated_frame = results[0].plot()
23         # Mostrar
24         cv2.imshow(winName, annotated_frame)
```

Figura 47. Código encargado de la detección de anomalías

Las imágenes son transmitidas para la detección de plagas o enfermedades, se lleva a cabo mediante modelos de inteligencia artificial previamente entrenados en Roboflow, esto permite identificar problemas en las plantas de manera rápida y eficiente que los métodos tradicionales de inspección visual.

VI-L1. Software de control del movimiento: El software de control del movimiento está alojado en el microcontrolador Arduino Uno, que actúa como el núcleo de la gestión de los motores y la comunicación con el usuario, este sistema se divide en 3 partes principales, Comunicación vía Bluetooth, Gestión de comandos en Arduino Uno y el control de motores.

- Comunicación vía Bluetooth: El módulo Bluetooth HC-06 es el principal dispositivo de entrada, a través de la conexión Bluetooth, el robot recibe comandos enviados desde un dispositivo externo, como un teléfono móvil.

- Gestión de comandos en el controlador: El Arduino Uno actúa como la unidad central de procesamiento, interpretando los comandos recibidos vía Bluetooth, mediante el microcontrolador los comandos son enviados como señales eléctricas específicas para el L298 Motor Drive.

- Control de motores: El software envía las señales procesadas desde el Arduino Uno al L298 Motor Drive, que es el encargado de gestionar la energía que va a los motores DC, este controlador de motores permite controlar la velocidad de los motores y su dirección, ofreciendo la posibilidad de realizar movimientos como avanzar, retroceder y girar.

VI-L2. Software de transmisión de imágenes: El segundo sistema de software se encuentra en el módulo ESP32-CAM, que es responsable de capturar y transmitir imágenes, como se muestra en la “figura 48“, este sistema también tiene una arquitectura que se organiza en torno a 3 partes principales, captura de imágenes, transmisión de datos y análisis visual con inteligencia artificial.

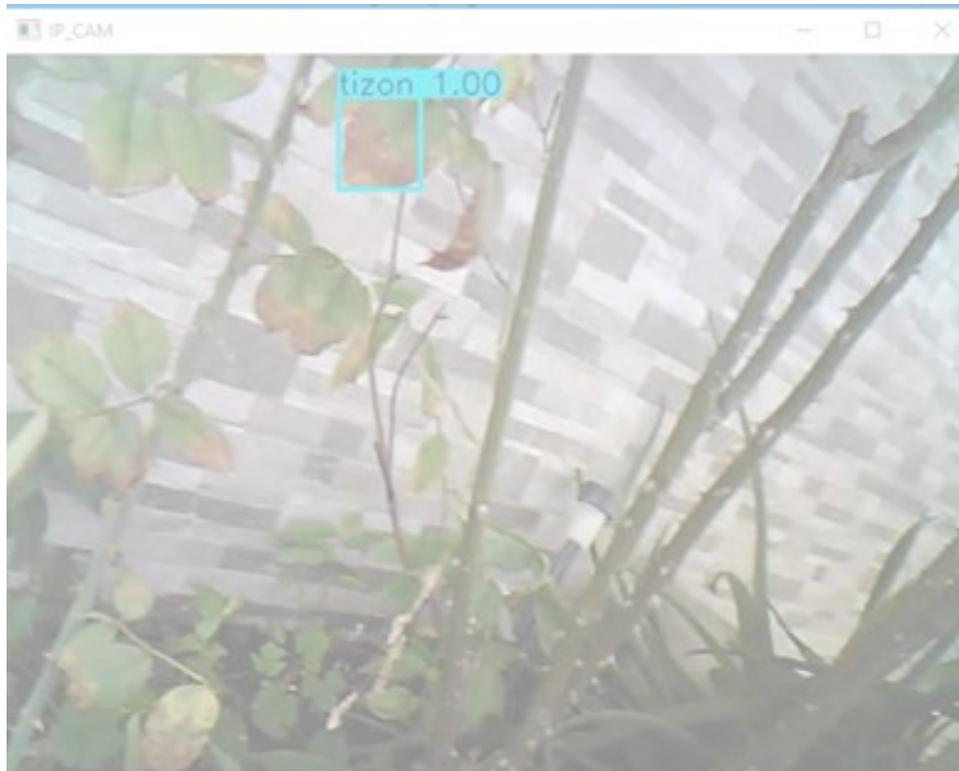


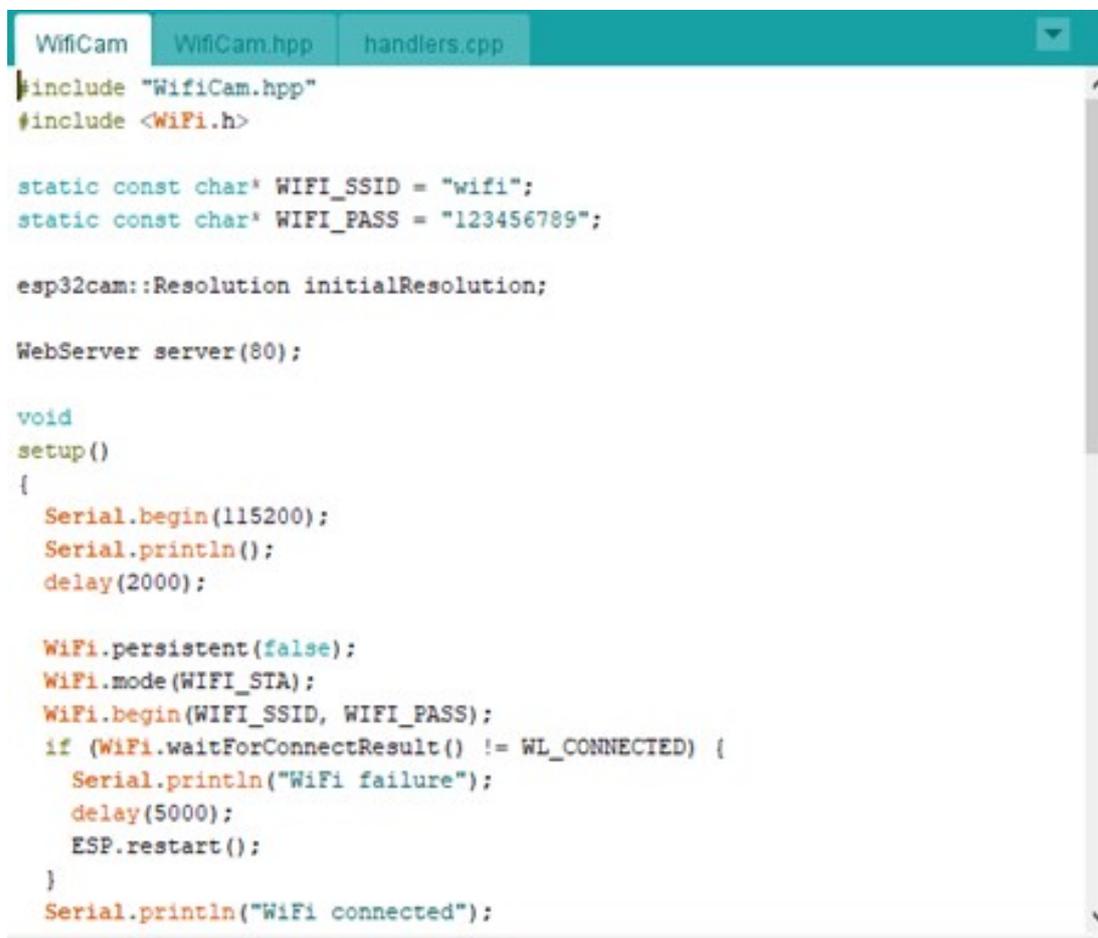
Figura 48. Trasmisión de imagen mediante la ESP32-CAM

- **Captura de imágenes:** El ESP32-CAM incluye una cámara que actúa como el sensor principal del sistema de análisis visual, este módulo captura imágenes en tiempo real, dependiendo de los requerimientos del sistema, el software está diseñado para optimizar la calidad de la imagen mientras se minimizan los recursos utilizados, dado que el ESP32-CAM tiene limitaciones en términos de procesamiento y almacenamiento.
- **Transmisión de datos:** El software integrado en el ESP32-CAM se encarga de la transmisión de estos datos, este módulo cuenta con conectividad Wi-Fi, lo que permite enviar las imágenes capturadas a un servidor remoto, este software tiene la capacidad de realizar algunas operaciones básicas de procesamiento de imágenes, como el ajuste de brillo y contraste, antes de enviar las imágenes.
- **Análisis visual con inteligencia artificial:** Las imágenes transmitidas por el ESP32-CAM son procesadas y analizadas mediante algoritmos de inteligencia artificial, este sistema utiliza redes neuronales convolucionales entrenadas para detectar anomalías en los cultivos de pimientos.

VI-L3. Programación y Configuración de la IP del ESP32-CAM: El Arduino Uno se utiliza para la programación del ESP-32 Cam, como se muestra en la “figura 49“ para de esta manera a través de la programación del Arduino, es posible obtener y procesar la dirección IP que genera la ESP32-CAM, la cual permite acceder a la transmisión en tiempo real de las imágenes.

Este proceso de programación implica el uso del entorno de desarrollo Arduino IDE, donde se carga un código específico que configura la ESP32-CAM para funcionar como una cámara de transmisión en tiempo real, el Arduino UNO actúa como un intermediario, facilitando la carga del firmware necesario en la ESP32-CAM.

Una vez completada la programación, la ESP32-CAM se conecta a la red Wi-Fi, generando una dirección IP única, esta dirección es fundamental, ya que se utiliza para acceder a la interfaz web que muestra las imágenes capturadas por la cámara.



```
WifiCam WifiCam.hpp handlers.cpp
#include "WifiCam.hpp"
#include <WiFi.h>

static const char* WIFI_SSID = "wifi";
static const char* WIFI_PASS = "123456789";

esp32cam::Resolution initialResolution;

WebServer server(80);

void
setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println();
  delay(2000);

  WiFi.persistent(false);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  if (WiFi.waitForConnectResult() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("WiFi failure");
    delay(5000);
    ESP.restart();
  }
  Serial.println("WiFi connected");
}
```

Figura 49. Código para la obtención de la IP del ESP-32 CAM

VII. RESULTADOS DE LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS

VII-A. Tablas de validación

Para validar la precisión de la aplicación desarrollada para la detección de anomalías en cultivos de pimientos, se realizó una comparación directa entre los resultados obtenidos por la aplicación y los observados manualmente por un ser humano en una serie de plantas, se seleccionaron tres tipos de anomalías comunes: tizón, mosca blanca, y oídio, evaluando la capacidad de la aplicación para identificar correctamente la presencia o ausencia de estas enfermedades en comparación con un observador humano.

La Tabla 9 muestra los resultados de esta validación, cada fila representa una planta individual evaluada, donde se registra si la anomalía fue detectada por la aplicación y por el observador humano.

Tabla IX
TABLA 9. VALIDACIÓN DE DETECCIÓN SEGÚN COINCIDENCIAS ENTRE APLICACIÓN Y SER HUMANO

Anomalía tizón, mosca blanca, oídio	Detección por Aplicación	Detección por Humano	Coincidencia
Planta 1	Sí	Sí	✓
Planta 2	No	No	✓
Planta 3	Sí	Sí	✓
Planta 4	No	No	✓
Planta 5	Sí	No	X
Planta 6	Sí	Sí	✓
Planta 7	Si	No	X
Planta 8	Sí	Sí	✓
Planta 9	Si	No	X
Planta 10	Sí	Sí	✓
Planta 11	No	No	✓
Planta 12	Sí	Sí	✓
Planta 13	Si	No	X
Planta 14	Sí	Sí	✓
Planta 15	No	No	✓
Planta 16	Sí	Sí	✓
Planta 17	Si	No	X
Planta 18	Sí	Sí	✓
Planta 19	No	No	X
Planta 20	Sí	Sí	✓

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

La aplicación y el ser humano coincidieron en la detección de anomalías en 15 de las 20 plantas, mostrando una buena precisión y confiabilidad de la aplicación.

Tras la validación de la coincidencia de detección de anomalías entre la aplicación y el observador humano, se llevó a cabo un análisis cuantitativo para determinar la cantidad total de anomalías detectadas en cada categoría: oídio, tizón, y mosca blanca, este análisis tiene como objetivo evaluar la precisión del sistema en términos de detección total por tipo de anomalía, comparando los resultados obtenidos manualmente con los proporcionados por la aplicación.

La Tabla 10 presenta los datos recogidos durante las pruebas, esta muestra la cantidad de anomalías contadas manualmente por un observador humano y las detectadas por la aplicación, además se calcula el porcentaje de coincidencias entre ambos métodos utilizando la siguiente “ecuación 25”, lo que permite evaluar la precisión del sistema automatizado en comparación con el proceso manual.

$$\text{Porcentaje}_{\text{coincidencia}} = \frac{\text{Anomalías contadas manualmente}}{\text{Anomalías contadas por la App}} \times 100 \quad (25)$$

$$\text{Porcentaje}_{\text{coincidencia_oídio}} = \frac{3}{5} \times 100 = 60 \% \quad (26)$$

$$\text{Porcentaje}_{\text{coincidencia_Tizón}} = \frac{4}{6} \times 100 = 67 \% \quad (27)$$

$$\text{Porcentaje}_{\text{coincidencia_mosca_blanca}} = \frac{3}{4} \times 100 = 75 \% \quad (28)$$

$$\text{Porcentaje}_{\text{precisión_humano}} = \frac{(3 + 4 + 3)}{20} \times 100 = 50 \% \quad (29)$$

$$\text{Porcentaje}_{\text{precisión_app}} = \frac{(5 + 6 + 4)}{20} \times 100 = 75 \% \quad (30)$$

Tabla X

TABLA 10. CANTIDAD DE ANOMALÍAS DETECTADAS POR LA APLICACIÓN Y POR UN SER HUMANO

Anomalía	Anomalías contadas manualmente	Anomalías contadas por la APP	Porcentajes de coincidencias
oídio	3	5	60 %
Tizón	4	6	67 %
Mosca Blanca	3	4	75 %
Porcentaje de precisión	50 %	75 %	-

Fuente: Jorge Ricardo Campoverde Corrales

La aplicación mostró una alta precisión en la detección de las anomalías en las plantas de pimiento, con un porcentaje de detección variable según la anomalía, además el porcentaje de coincidencia indica cuán efectivas y confiables son las técnicas automatizadas en comparación con las observaciones humanas, un porcentaje alto sugiere que la aplicación es precisa y que su rendimiento es comparable al de un experto humano, en cambio, un porcentaje bajo indicaría que la aplicación requiere ajustes o mejoras en su capacidad de detección.

VIII. CONCLUSIONES

Se concluye en la presente tesis que el diseño de una aplicación destinada a la detección y análisis de enfermedades y plagas en cultivos de pimientos utilizando la tarjeta de desarrollo ESP32 Cam, representa un avance significativo en la agricultura de precisión, pues esta herramienta no solo permitirá a los agricultores identificar problemas de manera temprana y precisa, sino que también optimizará el manejo de los cultivos, reduciendo pérdidas y mejorando la calidad y cantidad de la producción, también la integración de tecnología avanzada en la agricultura asegura un futuro más sostenible y eficiente para la industria agrícola.

También se puede concluir que el diseño de una aplicación destinada a identificar plagas o enfermedades comunes en plantas de pimientos es un paso crucial hacia la modernización de la agricultura, esta herramienta permitirá a los agricultores detectar problemas de manera rápida y precisa, facilitando la implementación de medidas correctivas oportunas al integrar tecnología avanzada en el monitoreo de cultivos, se promueve una gestión más eficiente y sostenible, mejorando tanto la calidad como la cantidad de la producción de pimientos.

Como conclusión también tenemos que el desarrollo de un algoritmo que utilice visión artificial para transmitir imágenes y almacenarlas en una base de datos representa un avance significativo en la gestión de datos visuales, ya que esta tecnología permitirá la captura y el análisis eficiente de imágenes, facilitando la identificación y el seguimiento de plagas y enfermedades en los cultivos de pimientos ya que al integrar esta solución, se mejora la precisión y la rapidez en la toma de decisiones, contribuyendo a una agricultura más inteligente y sostenible.

Finalmente también se puede concluir que la validación del funcionamiento del sistema mediante pruebas de comparación con las imágenes almacenadas en la base de datos es esencial para asegurar su precisión y eficacia, que este proceso permitirá verificar que el algoritmo de visión artificial identifica correctamente las plagas y enfermedades en los cultivos de pimientos, al confirmar la fiabilidad del sistema, se garantiza una herramienta robusta y confiable para los agricultores, promoviendo una gestión más eficiente y sostenible de los cultivos.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda como aspecto fundamental, el proporcionar formación continua a los agricultores sobre el uso de la aplicación y el sistema de visión artificial, esta capacitación debe incluir talleres prácticos, tutoriales en línea y soporte técnico constante que permita empoderarse a los agricultores con el conocimiento y las habilidades necesarias que aseguren que puedan identificar y manejar plagas y enfermedades de manera efectiva, maximizando los beneficios de la tecnología implementada.

Se recomienda mantener la base de datos de imágenes actualizada con nuevas muestras de plagas y enfermedades ya que esto es crucial para la precisión del sistema, esto implica la colaboración con expertos en fitopatología y entomología para recolectar y catalogar nuevas imágenes, además se recomienda implementar un sistema de retroalimentación donde los agricultores puedan subir imágenes de nuevas plagas o enfermedades detectadas en sus cultivos, enriqueciendo la base de datos y mejorando la capacidad del algoritmo para reconocer amenazas emergentes.

Finalmente se recomienda implementar un proceso de monitoreo y evaluación constante del sistema, lo que es esencial para identificar posibles mejoras y ajustes necesarios, esto incluye la realización de pruebas periódicas de comparación con imágenes almacenadas para validar la precisión del algoritmo, además, se recomienda establecer un equipo de soporte técnico que pueda responder rápidamente a cualquier problema o fallo del sistema, asegurando así su fiabilidad y eficacia continua. La retroalimentación de los usuarios también debe ser recopilada y analizada regularmente para hacer mejoras basadas en la experiencia práctica de los agricultores.

Estas recomendaciones no solo ayudarán a maximizar los beneficios de la tecnología implementada, sino que promoverá una agricultura más eficiente, adaptándose a las necesidades cambiantes de los agricultores y sus cultivos.

REFERENCIAS

- [1] G. Delnevo, R. Girau, C. Ceccarini y C. Prandi, «A Deep Learning and Social IoT Approach for Plants Disease Prediction Toward a Sustainable Agriculture,» *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, págs. 7243-7250, 2022.
- [2] C. K. Sunil, C. D. Jaidhar y N. Patil, «Cardamom Plant Disease Detection Approach Using EfficientNetV2,» *IEEE Access*, vol. 10, págs. 789-804, 2022.
- [3] H. Amin, A. Darwish, A. E. Hassanien y M. Soliman, «End-to-End Deep Learning Model for Corn Leaf Disease Classification,» *IEEE Access*, vol. 10, págs. 31 103-31 115, 2022.
- [4] L.-B. Chen, X.-R. Huang y W.-H. Chen, «Design and Implementation of an Artificial Intelligence of Things-Based Autonomous Mobile Robot System for Pitaya Harvesting,» *IEEE SENSORS*, vol. 16, 2023.
- [5] W. Shafik, A. Tufail, A. Namoun, L. C. D. Silva y R. A. A. H. M. Apong, «A Systematic Literature Review on Plant Disease Detection: Techniques, Dataset Availability, Challenges, Future Trends, and Motivations,» *IEEE Access*, 2023.
- [6] K. M. Hosny, W. M. El-Hady, F. M. Samy, E. Vrochidou y G. A. Papakostas, «Multi-Class Classification of Plant Leaf Diseases Using Feature Fusion of Deep Convolutional Neural Network and Local Binary Pattern,» *IEEE Access*, 2023.
- [7] K. Liu y X. Zhang, «PiTLiD: Identification of Plant Disease from Leaf Images Based on Convolutional Neural Network,» *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, vol. 20, págs. 1278-1288, 2023.
- [8] E. Moupojou, A. Tagne, F. Retraint et al., «FieldPlant: A Dataset of Field Plant Images for Plant Disease Detection and Classification With Deep Learning,» *IEEE Access*, vol. 11, págs. 35 398-35 410, 2023.
- [9] S. K. Noon, M. Amjad, M. A. Qureshi y A. Mannan, «Handling Severity Levels of Multiple Co-Occurring Cotton Plant Diseases using Improved YOLOX Model,» *IEEE Access*, 2022.
- [10] H Kang, H Zhou y C Chen, «Visual Perception and Modeling for Autonomous Apple Harvesting,» *IEEE Access*, vol. 13, 2020.
- [11] A. O. Bula, *IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA EN EL DESARROLLO SOCIO-ECONÓMICO*, 2020.
- [12] A Márquez, *ecología verde*, 2021.
- [13] L. M. Constantino, *Control natural factores bióticos*, 2020.
- [14] M Andrea, *ecología verde*, 2021.
- [15] R. E. Marmolejo, «ESP-32 CAM,» *Teoría y Praxis*, 2021.
- [16] L. M. Fariño, «El IoT aplicado a la Domótica,» *Tecnológica UPSE*, vol. 8, 2020.
- [17] V. Chiriboga, *Características técnicas del ARDUINO UNO*, 2021.
- [18] EDteam, *Tipos de lenguajes de programación*, 2020.
- [19] S. Delgado, *Aprende Python - Detodopython.com*, 2023.
- [20] D. Nelson, *Reconocimiento y Clasificación de Imágenes en Python con TensorFlow y Keras*, 2023.
- [21] R. A. P. Pérez, *Introducción al Aprendizaje Automático con YOLO*, 2019.
- [22] Jiang;Guo;Kaiyang;Hu;Zhu, *Optimization of Intelligent Plant Cultivation Robot System in Object Detection*, 2021.
- [23] M. Marques, *Bases de datos*. Universitat Jaume I. Servei de Comunicacio i Publicacions, 2019, pág. 175.

X. ANEXOS

ANEXOS 1

Encuesta sobre Anomalías en Plantas de Pimientos y Uso de Software de Reconocimiento

1. ¿Ha observado anomalías en sus plantas de pimientos en los últimos seis meses?

SI

NO

2. ¿Utiliza actualmente algún método para detectar anomalías en sus plantas de pimientos?

SI

NO

3. ¿Qué métodos utiliza para detectar anomalías en sus plantas de pimientos? (Seleccione todas las que apliquen)

Inspección visual

Análisis de laboratorio

Software de reconocimiento de imágenes

Consultoría con expertos

Otros: _____

4. ¿Está familiarizado con el uso de software de reconocimiento de imágenes para la detección de anomalías en plantas?

SI

NO

5. ¿Qué tan efectivo cree que es el software de reconocimiento de imágenes para detectar anomalías en plantas de pimientos?

Muy efectivo

Efectivo

Poco efectivo

No efectivo

6. ¿Ha considerado implementar software de reconocimiento de imágenes en su cultivo de pimientos?

SI

NO

7. ¿Qué beneficios espera obtener al usar software de reconocimiento de imágenes? (Seleccione todas las que apliquen)

Detección temprana de enfermedades

Reducción de pérdidas en el cultivo

Mejora en la calidad del producto

Ahorro de tiempo y recursos

Otros: _____

8. ¿Le gustaría recibir capacitación sobre el uso de software de reconocimiento de imágenes para la detección de anomalías en plantas?

SI

NO

9. ¿Estaría dispuesto a invertir en tecnología de reconocimiento de imágenes para mejorar la salud de sus plantas de pimientos?

SI

NO

10. ¿Qué factores considera más importantes al elegir un software de reconocimiento de imágenes? (Seleccione todas las que apliquen)

Precisión del reconocimiento

Facilidad de uso

Costo

Soporte técnico

Integración con otros sistemas

Otros: _____

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Anexo 2. Tabulación de la encuesta

Tomando un universo de 40 personas ubicadas en el sector de Data de Posorja, perteneciente al cantón Guayaquil, se procede al análisis de cada una de las preguntas formuladas en el cuestionario.

1. ¿Ha observado anomalías en sus plantas de pimientos en los últimos seis meses?

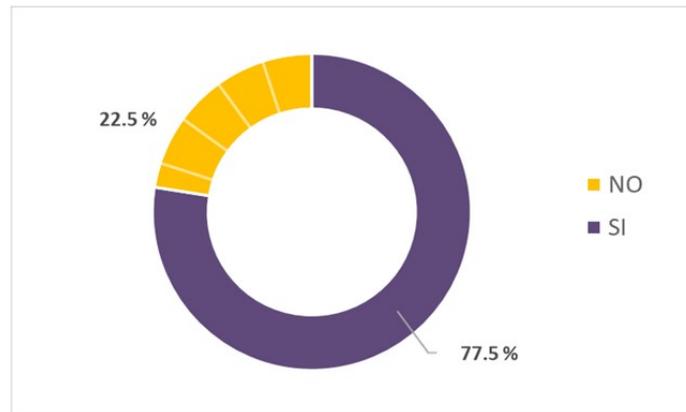


Gráfico 1. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

De acuerdo con lo indicado por quienes respondieron a la encuesta, la mayoría que corresponde al 77,5 % responde que, si ha observado anomalías en sus plantas, indicando por dialogo con ellos que estas anomalías mayormente se notan en la integridad de las hojas, sin embargo, es de anotar que este medio por el que los encuestados determinan su respuesta es solo por el medio visual y sin ningún tipo de asesoramiento de un profesional.

2. ¿Utiliza actualmente algún método para detectar anomalías en sus plantas de pimientos?

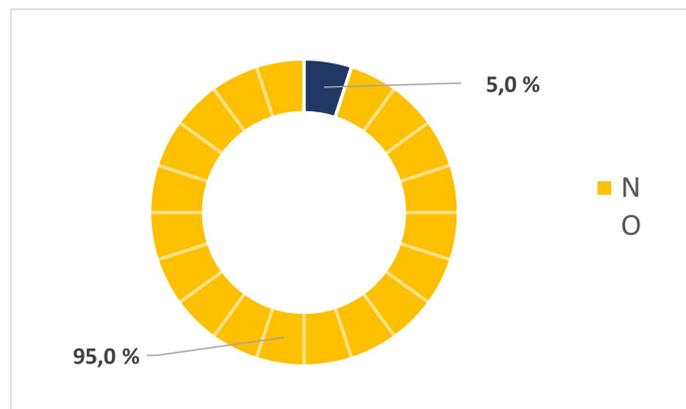


Gráfico 2. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

El análisis de la pregunta, revela que una abrumadora mayoría, el 95 %, respondió que no. Esto sugiere varias cosas importantes, una de ellas la falta de uso de métodos de detección de anomalías, lo cual indica que la mayoría de los productores de pimientos no están aprovechando tecnologías avanzadas. Esto podría deberse a la falta de

acceso a estas tecnologías o a la falta de conocimiento sobre su existencia y beneficios.

Sin métodos de detección de anomalías, los agricultores pueden estar perdiendo la oportunidad de identificar y corregir problemas en sus cultivos de manera temprana, lo que podría afectar negativamente la producción y la calidad de los pimientos. Este análisis destaca la necesidad de promover y facilitar el acceso a tecnologías de detección de anomalías en la agricultura para mejorar la eficiencia, la productividad y la rápida detección de anomalías.

3. ¿Qué métodos utiliza para detectar anomalías en sus plantas de pimientos?

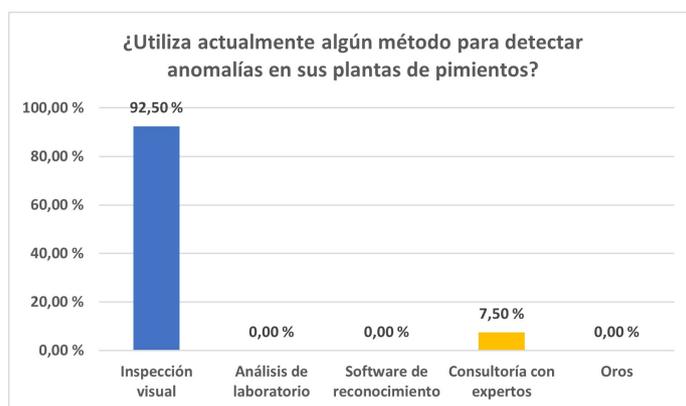


Gráfico 3. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

Respecto a la pregunta 3 la mayoría de encuestado, que equivale al 92.5 %, confía en el análisis visual. Esto sugiere que los productores de pimientos dependen principalmente de la observación directa para identificar problemas en sus cultivos, aunque el uso predominante del análisis visual puede indicar una falta de acceso o conocimiento sobre tecnologías más avanzadas que podrían facilitar la detección de anomalías, también debe considerarse que el análisis visual es una técnica tradicional y accesible y puede no ser tan preciso o eficiente como otros métodos tecnológicos.

La dependencia del análisis visual podría estar limitando la capacidad de los agricultores para detectar problemas en etapas tempranas, lo que podría afectar la calidad y el rendimiento de las cosechas, por lo que la implementación de tecnologías avanzadas, como sensores o sistemas de monitoreo automatizados, podría complementar el análisis visual y proporcionar una detección más precisa y oportuna de anomalías, lo que permitirá mejorar la eficiencia y la productividad, así como para reducir la carga de trabajo manual y el margen de error humano.

4. ¿Está familiarizado con el uso de software de reconocimiento de imágenes para la detección de anomalías en plantas?

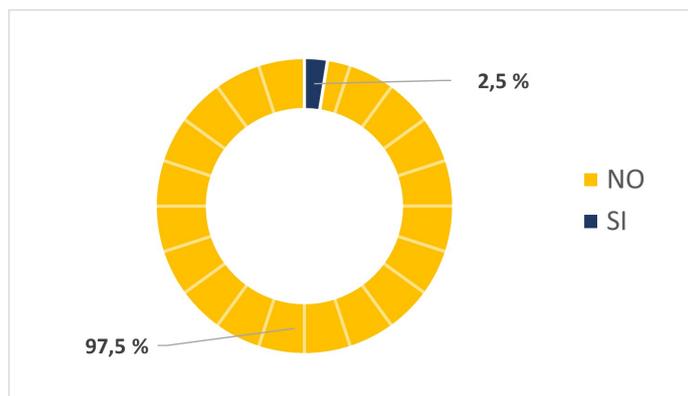


Gráfico 4. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

Respecto a esta pregunta, el análisis revela que el 97.5 %, respondió que no están familiarizados con esta tecnología avanzada, esta falta de familiaridad puede deberse a varios factores. En primer lugar, podría indicar una brecha en la educación y capacitación de los agricultores en el uso de tecnologías modernas. Muchos productores pueden no estar al tanto de las ventajas que el software de reconocimiento de imágenes puede ofrecer en términos de precisión y eficiencia en la detección de problemas en las plantas.

Además, la adopción de este tipo de software podría representar una inversión valiosa a largo plazo, ya que permite una detección temprana y precisa de anomalías, lo que puede mejorar la salud y el rendimiento de los cultivos.

Este análisis destaca la necesidad de iniciativas que promuevan la educación y el acceso a tecnologías avanzadas en la agricultura. Al aumentar la familiaridad y el uso de software de reconocimiento de imágenes, los agricultores podrían beneficiarse de una mayor eficiencia y productividad en sus operaciones.

5. ¿Qué tan efectivo cree que es el software de reconocimiento de imágenes para detectar anomalías en plantas de pimientos?

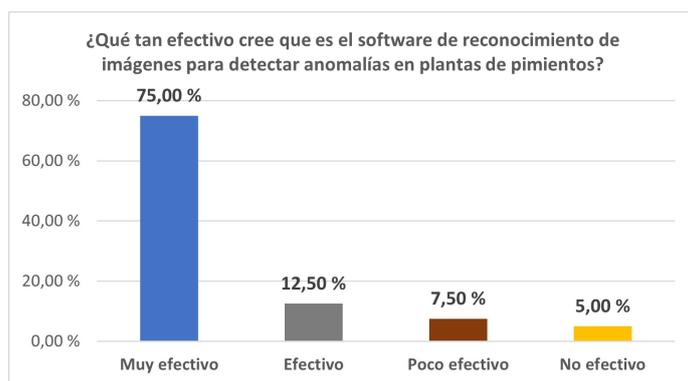


Gráfico 5. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

A la pregunta sobre la efectividad del software de reconocimiento de imágenes para detectar anomalías en plantas de pimientos, muestra una clara tendencia positiva en los encuestados, dando un 75 % de los encuestados

que considera que el uso de software será muy efectivo para la detección temprana y efectiva de anomalías en plantas, lo que indica una alta confianza en esta tecnología.

El 12.50 % de los encuestados califica como efectivo el uso de software, sumando un total de 87.50 % de opiniones favorables, mientras que solo un 7.50 % lo ve como poco efectivo y un 5 % como nada efectivo lo que sugiere que las críticas a la utilización de la tecnología son mínimas.

Los resultados reflejan una percepción mayoritariamente positiva por parte de los encuestados y sugieren que el software tiene un gran potencial para ser una herramienta útil en la agricultura.

6. ¿Consideraría implementar software de reconocimiento de imágenes en su cultivo de pimientos?

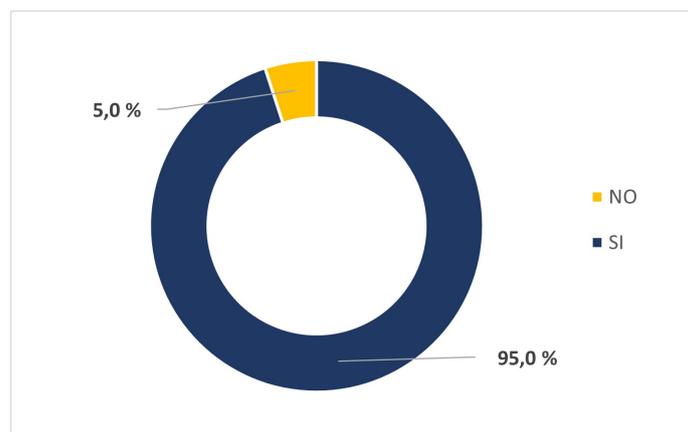


Gráfico 6. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

A la pregunta sobre la implementación de software de reconocimiento de imágenes en cultivos de pimientos las respuestas de los encuestados presentan una notable aceptación, donde el 95 % de los encuestados ha considerado esta tecnología, lo que indica un alto interés y confianza en su efectividad.

El 5 % no ha mostrado interés o no considera utilizar esta tecnología, por lo que las respuestas sugieren que la mayoría ve el potencial de esta herramienta para mejorar la gestión de sus cultivos.

Estos resultados podrían reflejar una creciente conciencia sobre los beneficios del uso de tecnología avanzada en la agricultura, como la detección temprana de enfermedades y la optimización del rendimiento, para mantener este interés, sería beneficioso proporcionar más información y apoyo sobre cómo implementar y utilizar eficazmente el software, así como la baja inversión económica frente a los beneficios que se obtienen.

7. ¿Qué beneficios espera obtener al usar software de reconocimiento de imágenes? (Seleccione todas las que apliquen)

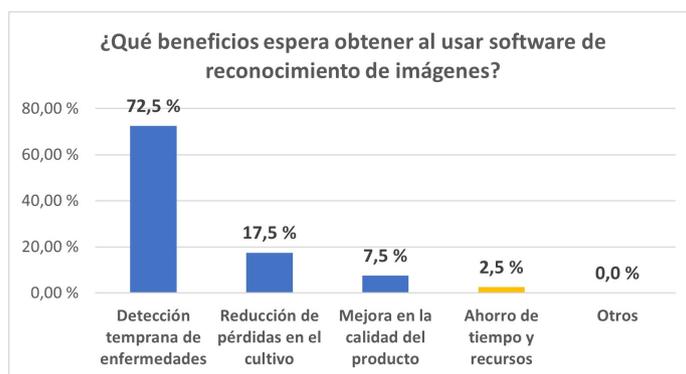


Gráfico 7. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

Las respuestas sobre los beneficios esperados al utilizar software de reconocimiento de imágenes en cultivos de pimientos revelan prioridades claras entre los encuestados, siendo la detección temprana de enfermedades el beneficio más valorado, con un 72.50 %, lo que indica la importancia de identificar problemas antes de que se propaguen.

La reducción de pérdidas en el cultivo es el segundo beneficio más esperado, con un 17.50 %, lo que sugiere que los agricultores buscan minimizar el impacto de las enfermedades y plagas con el objetivo de minimizar las pérdidas en los productos.

La mejora en la calidad del producto es seleccionada por un 7.50 % de los encuestados, pues al identificar enfermedades y plagas en sus primeras etapas, se pueden tomar medidas correctivas antes de que afecten gravemente la calidad de los pimientos, esto asegura que los frutos crezcan sanos y sin defectos, finalmente, el ahorro de tiempo y recursos es considerado por un 2.50 %, sugiriendo que aunque es un beneficio, no es la principal preocupación.

8. ¿Le gustaría recibir capacitación sobre el uso de software de reconocimiento de imágenes para la detección de anomalías en plantas?

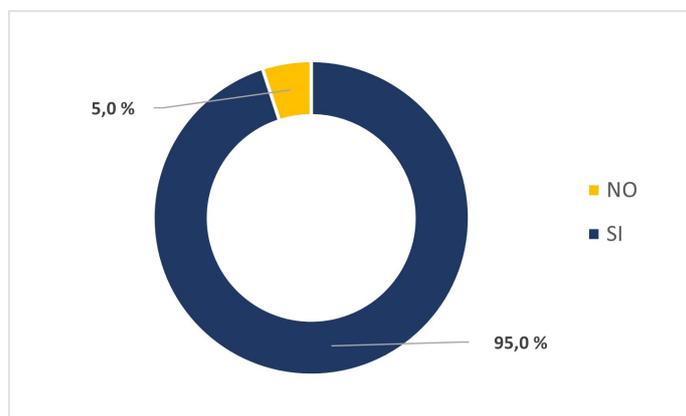


Gráfico 8. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

Referente a la pregunta sobre el interés en recibir capacitación sobre el uso de software de reconocimiento de imágenes para la detección de anomalías en plantas, esta pregunta presenta una gran demanda, siendo un 95 % de

los encuestados que expresaron su deseo de recibir capacitación, lo que indica un alto nivel de interés y disposición para adoptar esta tecnología.

El 5% ha contestado que no está interesado en capacitación, lo que sugiere que la mayoría de los agricultores no reconocen el valor potencial de esta herramienta.

Estos resultados reflejan una apertura significativa hacia la innovación y la mejora de prácticas agrícolas, para satisfacer esta demanda, sería beneficioso desarrollar programas de capacitación accesibles y prácticos que aborden las necesidades específicas de los agricultores y les proporcionen las habilidades necesarias para implementar y utilizar eficazmente el software.

9. ¿Estaría dispuesto a invertir en tecnología de reconocimiento de imágenes para mejorar la salud de sus plantas de pimientos?

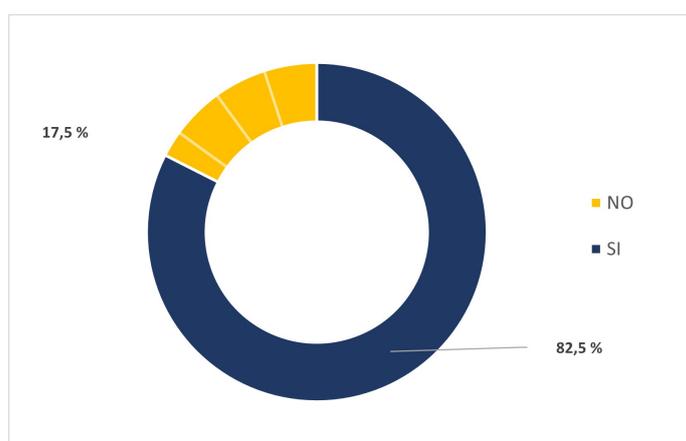


Gráfico 9. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

El análisis de las respuestas a la pregunta sobre la disposición a invertir en tecnología de reconocimiento de imágenes para mejorar la salud de las plantas de pimientos, las respuestas presentan una actitud positiva hacia la adopción de nuevas tecnologías, con un 82.5% de los encuestados que está dispuesto a realizar esta inversión, lo que refleja una alta confianza en los beneficios potenciales de esta tecnología.

El 17.5% no está dispuesto a invertir, lo que sugiere que las barreras económicas o la falta de conocimiento podrían ser factores limitantes, por lo que estos resultados indican que la mayoría de los agricultores están abiertos a mejorar sus prácticas agrícolas mediante la tecnología, siempre que se les demuestre su efectividad y se les ofrezca apoyo en la implementación.

**10. ¿Qué factores considera más importantes al elegir un software de reconocimiento de imágenes?
(Seleccione todas las que apliquen)**

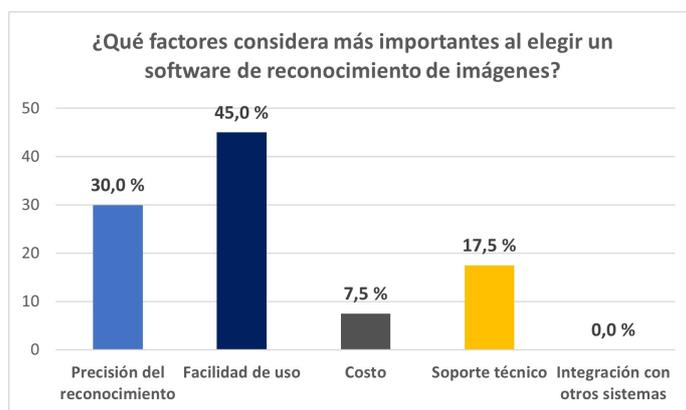


Gráfico 10. Encuesta aplicada - fecha: marzo 9-10 de 2024

El análisis de las respuestas sobre los factores más importantes al elegir un software de reconocimiento de imágenes, este revela prioridades claras entre los encuestados, siendo la facilidad de uso el factor más valorado, con un 45 %, lo que indica que los usuarios prefieren soluciones intuitivas y accesibles que no requieran una curva de aprendizaje pronunciada, la precisión de reconocimiento es el segundo factor más importante, con un 30 %, subrayando la necesidad de resultados confiables y exactos, también se considera el soporte técnico, como un factor importante para un 17.50 % de los encuestados, lo que refleja la importancia de contar con asistencia y mantenimiento adecuados.

finalmente, el costo es una preocupación menor, con solo un 7.50 %, lo que sugiere que los usuarios están dispuestos a invertir si el software cumple expectativas en términos de facilidad de uso, precisión y soporte.