



DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA ENTRENAMIENTO DE TIRO VIRTUAL MEDIANTE DETECCIÓN ÓPTICA DE HACES DE LUZ

DEVELOPMENT OF AN ARTIFICIAL VISION PLATFORM FOR VIRTUAL SHOOTING TRAINING THROUGH OPTICAL DETECTION OF LIGHT BEAMS

Ing. Bryan Jose Atahuichi Pinto ^{1 * \$}
<https://orcid.org/0009-0003-9613-8409>

DOI: <https://doi.org/10.70722/awbn9526bd62a>
Recibido: Agosto 23, 2025; Aceptado: Octubre, 25 2025

RESUMEN

El presente artículo presenta el desarrollo de una plataforma de visión artificial destinada al entrenamiento de tiro virtual, utilizando detección óptica de haces de luz como mecanismo de evaluación de precisión y rendimiento. El sistema fue diseñado para simular escenarios de instrucción de tiro de escuela en entornos controlados, reduciendo significativamente los costos operativos y aumentando la frecuencia de práctica. A través del uso de bibliotecas OpenCV y AForge.NET, se logró detectar con alta precisión el impacto de haces láser proyectados sobre siluetas virtuales, integrando la información en una base de datos para la evaluación automática del desempeño. Esta plataforma tiene como objetivo fortalecer la instrucción de los estudiantes de los primeros semestres, reduciendo significativamente los costos operativos asociados a las prácticas físicas y aumentando la frecuencia y calidad de las sesiones de entrenamiento. Los resultados demostraron una precisión del 90% y una reducción del 75% en falsos positivos respecto al método de detección basado exclusivamente en color. Este desarrollo evidencia el potencial de la visión artificial aplicada al entrenamiento militar y su viabilidad como herramienta de instrucción interactiva y escalable.

Palabras claves: Visión artificial, entrenamiento de tiro virtual, detección óptica, OpenCV, AForge.NET.

ABSTRACT

This article presents the development of a computer vision platform for virtual shooting training, using optical light beam detection as a mechanism for evaluating accuracy and performance. The system was designed to simulate school shooting instruction scenarios in controlled environments, significantly reducing operating costs and increasing the frequency of practice. Through the use of OpenCV and AForge.NET libraries, it was possible to detect with high precision the impact of laser beams projected onto virtual silhouettes, integrating the information into a database for automatic performance evaluation. This platform aims to strengthen the instruction of first-semester students, significantly reducing the operating costs associated with physical practice and increasing the frequency and quality of training sessions. The results demonstrated 90% accuracy and a 75% reduction in false positives compared to the color-based detection method. This development demonstrates the potential of computer vision applied to military training and its viability as an interactive and scalable instructional tool.

Keywords: Machine vision, virtual shooting training, optical detection, OpenCV, AForge.NET.



Citación: Bryan J. Atahuichi P. **DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA ENTRENAMIENTO DE TIRO VIRTUAL MEDIANTE DETECCIÓN ÓPTICA DE HACES DE LUZ.** Revista Científica EMINENTE 2025, 9-2: 51-58.

¹ Ingeniero de Sistemas - Responsable de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Unidad de Investigación, Ciencia y Tecnología, Unidad Académica Santa Cruz - Escuela Militar de Ingeniería.

* Corresponde al Autor (correo electrónico: atahuichi46@gmail.com).

[§] Dirección de contacto Investigador primer autor: Avenida Moscú, zona sur - Telf.: (+591) 77040993 – Santa Cruz – Bolivia.



INTRODUCCIÓN

Desde su creación, la Escuela Militar de Ingeniería (EMI) ha integrado la instrucción de tiro en los dos primeros semestres de los programas de nivel técnico superior y licenciatura. Sin embargo, esta formación se ha limitado principalmente al ámbito teórico debido a la carencia de herramientas y materiales adecuados para la ejecución de prácticas reales de tiro. La ausencia de recursos tecnológicos ha impedido la implementación de ejercicios prácticos que simulen de manera efectiva las condiciones de un polígono de tiro, lo que limita la formación integral de los estudiantes en esta área crucial de su formación militar.

La formación militar requiere el desarrollo de competencias técnicas y operativas que tradicionalmente se consolidan mediante prácticas reales de tiro. Sin embargo, los altos costos y la logística asociada limitan la frecuencia de estas actividades en entornos educativos. La Escuela Militar de Ingeniería (EMI) enfrenta estas restricciones, por lo que se propone una plataforma tecnológica que permita simular de manera controlada los ejercicios de tiro de escuela. Esta carencia de herramientas ha resultado en la ausencia de investigaciones previas que aborden la implementación de sistemas de reconocimiento de tiro de escuela, lo que subraya la novedad y relevancia del presente estudio.

Esta investigación plantea el uso de visión artificial para detectar y seguir haces de luz proyectados, simulando disparos sobre una silueta virtual. El sistema se apoya en tecnologías de procesamiento de imágenes en tiempo real, brindando una herramienta moderna que fortalece la instrucción y evaluación de los estudiantes. Mediante el diseño y desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección y seguimiento de haces de luz en áreas de monitoreo, este proyecto tiene como objetivo fortalecer las habilidades y destrezas de los futuros oficiales de reserva. Además, la implementación de este sistema no solo mejorará la calidad de la instrucción, sino que también reducirá los costos operativos asociados a las prácticas físicas, incrementando así la frecuencia y efectividad de las sesiones de entrenamiento.

En última instancia, este avance tecnológico promete transformar el proceso de enseñanza-aprendizaje, proporcionando a los estudiantes una herramienta que optimiza su preparación en la práctica de tiro de escuela.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar e implementar un sistema de visión artificial capaz de detectar y seguir haces de luz en áreas de monitoreo, con el propósito de simular de manera

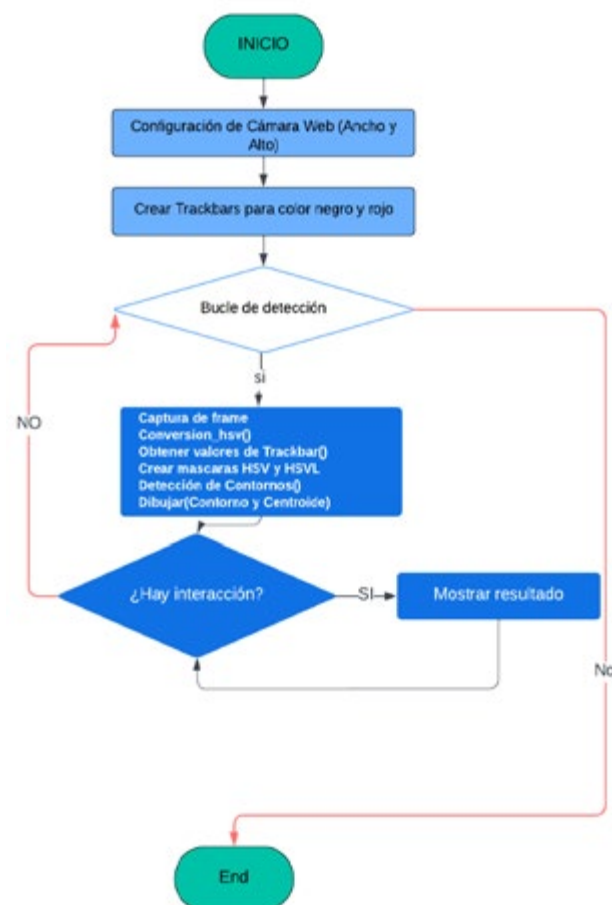
precisa las prácticas de tiro de escuela en la Escuela Militar de Ingeniería.

METODOLOGÍA

El diseño metodológico se basó en el desarrollo e integración de componentes de hardware y software. En la primera fase del presente trabajo de investigación, se implementó una tecnología de reconocimiento de colores utilizando la biblioteca OpenCV. Esta herramienta permite establecer los rangos mínimos y máximos para detectar un color específico dentro del espacio de color HSV (Hue, Saturation, Value). Con estos parámetros, se desarrolló un algoritmo de reconocimiento en el lenguaje de programación Python, diseñado para identificar y procesar la silueta objetivo.

El flujo del programa, que se detalla en la Figura 1, ilustra los pasos clave desde la captura de imágenes hasta la detección y procesamiento de los contornos basados en el color.

Figura 1. Algoritmo de detección por Color HSV

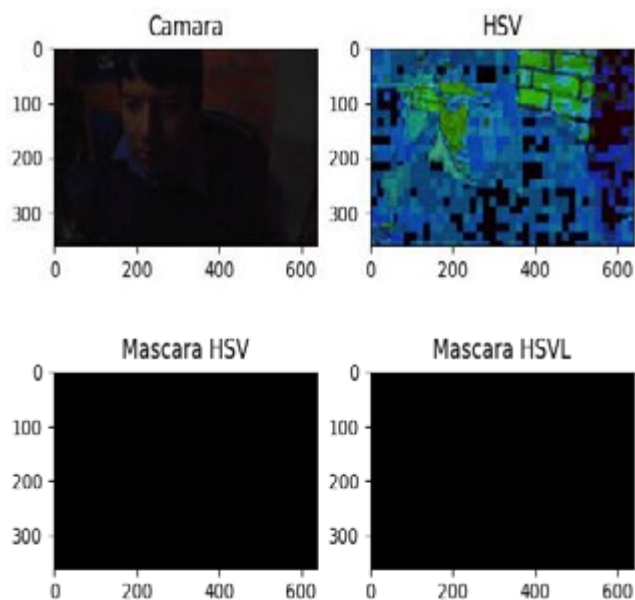


Fuente: Elaboración propia, 2024

Una vez implementado el sistema, se realizaron pruebas a una distancia de 4 metros de la pantalla proyectada, con una iluminación ambiental estándar. El objetivo de estas pruebas era detectar un objeto con una silueta destacada y un punto láser. Se evaluó la capacidad del sistema para identificar y registrar la intersección entre el objeto y el láser, utilizando técnicas de reconocimiento basadas en color y contorno de la silueta.

En la Figura 2, se presenta el procesamiento digital de la imagen utilizando valores y rangos específicos para la detección mediante máscaras HSV. Se han configurado los parámetros de detección para identificar con precisión el color negro de la silueta y el haz de luz del láser. La máscara HSV se ajusta para distinguir el color negro, mientras que la máscara HSVL está calibrada para captar el haz de luz láser. Estos ajustes permiten una diferenciación efectiva entre las áreas de interés en la imagen, facilitando la identificación y el análisis preciso de los elementos detectado.

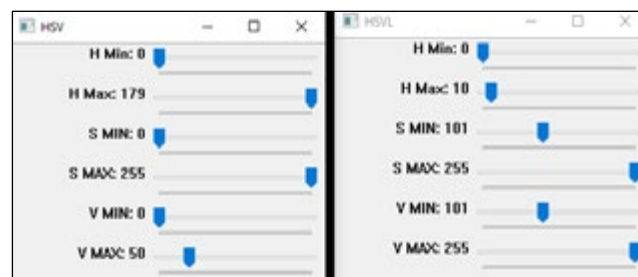
Figura 2. Resultados de espectro HSV y HSVL



Fuente: Elaboración propia

Los rangos establecidos para la detección del color negro de la silueta y del rojo del láser se han definido con precisión para garantizar una identificación efectiva. Los parámetros para el color negro han sido ajustados para maximizar la exactitud en la detección de la silueta, mientras que los valores para el rojo del láser han sido calibrados específicamente para capturar el haz de luz con alta sensibilidad. Estos rangos, Figura 3, permiten una discriminación clara entre el fondo y los elementos de interés, optimizando así el rendimiento del sistema de detección.

Figura 3. Rangos de prueba HSV para ambos casos



Fuente: Elaboración propia

El resultado de la prueba reveló que el sistema presenta una alta sensibilidad a las condiciones ambientales, lo que afecta negativamente la precisión de la detección de la silueta del polígono de tiro. Esta sensibilidad provoca que incluso pequeñas variaciones en el entorno generen falsos positivos, comprometiendo la fiabilidad del sistema en la identificación del haz de láser. En consecuencia, se observa una considerable inestabilidad en los resultados de detección, lo que sugiere la necesidad de ajustes adicionales para mejorar la robustez y exactitud del sistema.

Tras la realización de las pruebas preliminares, se identificaron variables clave que afectan el rendimiento en la detección de siluetas. El objetivo es reducir el impacto de estas variables para mejorar la precisión de los resultados. En consecuencia, se diseñó una aplicación de escritorio utilizando el entorno de desarrollo Visual Studio 2022, con el propósito de optimizar el método de detección de siluetas. Los hallazgos más importantes de estas pruebas, que guiaron el desarrollo de la aplicación, son los siguientes:

- Características de las siluetas en la práctica de tiro:**
 Las siluetas utilizadas en los entrenamientos de tiro de la escuela son completamente estáticas y no presentan movimiento. Además, tienen un diseño monocromático, lo que simplifica el proceso de segmentación de la imagen y detección de bordes, dado que no se deben considerar cambios dinámicos en el entorno ni variaciones en los colores. Este contexto práctico de uso permitió centrar los esfuerzos en la optimización del algoritmo para entornos controlados.
- Formato y puntuación de la silueta:**
 La silueta empleada tiene una forma circular, con áreas asignadas a puntajes específicos (3, 4, 5, y 5V). A diferencia de otros sistemas, este sigue un modelo porcentual desde el centro



hacia los bordes, asignando puntuaciones con base en la distancia relativa del impacto al centro de la silueta. Esta técnica sigue las directrices del Manual de Instrucción de Tiro de la Escuela, lo que asegura la estandarización y alineación con los métodos tradicionales de evaluación en los entrenamientos de tiro.

- **Dispositivo láser y mecanismo de detección:**
 El dispositivo láser está montado en el fusil y emite un haz de luz únicamente cuando el gatillo es percutado. En ese momento, el sistema debe escuchar el evento de disparo para capturar y procesar la posición exacta del impacto del láser en la silueta. El algoritmo debe verificar la intersección entre la silueta y el punto de impacto del láser en tiempo real, registrando la precisión del disparo de acuerdo con la zona de puntuación correspondiente.

A partir del análisis detallado de estos factores, se diseñó un flujo de trabajo optimizado para la aplicación de escritorio. Este flujo integra las técnicas de procesamiento de imágenes de la biblioteca AForge.NET para garantizar una detección eficiente y precisa. A continuación, Figura 4, se describe el flujo de trabajo de la aplicación de escritorio.

Figura 4. Flujo de trabajo de la Aplicación de Escritorio.



Fuente: Elaboración propia

El flujo de trabajo descrito se implementa mediante una interfaz gráfica desarrollada en Windows Forms, la cual permite la configuración inicial y el proceso de detección de disparos láser en un entorno controlado. Al iniciar la depuración de la aplicación, se cargan datos clave, como la configuración de la cámara PTZ (Pan-Tilt-Zoom) y el método de detección a emplear. En este caso particular, se utiliza un método basado en la detección de láser dentro de un área predefinida, dibujada en un componente gráfico del formulario, el PictureBox.

Carga y personalización de datos: Los datos del usuario, previamente guardados en una base de datos SQLite, se cargan al iniciar la aplicación. Aunque estos datos no influyen directamente en el proceso de detección, permiten personalizar la experiencia del usuario, evitando la necesidad de ingresar nuevamente configuraciones como la cámara seleccionada, el ID del usuario, y otros parámetros específicos. Estos datos son persistentes y se almacenan para futuras sesiones.

Configuración de la cámara: La configuración de la cámara PTZ se carga desde archivos de texto (txt), los cuales contienen los parámetros necesarios. Estos datos se integran en barras de progreso (ProgressBar) que permiten al usuario ajustar la cámara de acuerdo con los valores cargados. Este proceso facilita la personalización de los parámetros de control de la cámara directamente desde la interfaz de usuario.

Selección de cámara y áreas de detección: El usuario tiene la capacidad de seleccionar la cámara y la resolución a utilizar durante la práctica de tiro. Una vez seleccionada la configuración deseada, el usuario procede a delinear las áreas de detección de impacto dentro del formulario. Estas áreas corresponden a las zonas de puntuación estándar: 3, 4, 5 y 5V, de acuerdo con el manual de tiro. Cabe destacar que las variables de puntuación son editables, lo que permite ajustar los valores de acuerdo con los requisitos específicos de la instrucción o del escenario de práctica.

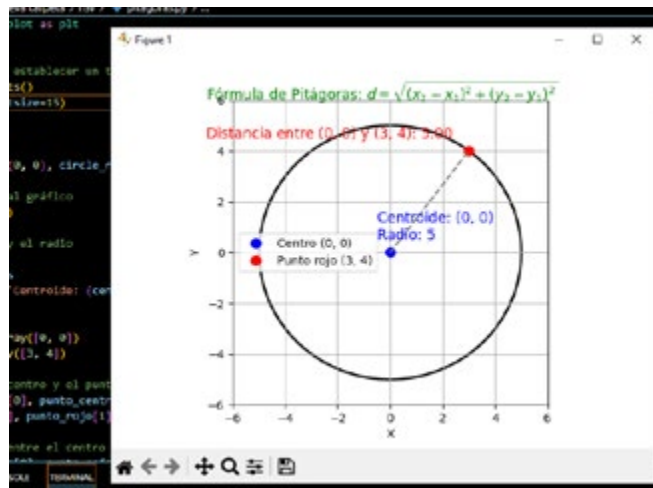
Calibración y detección: El siguiente paso en el proceso es la calibración de la silueta, donde se elimina el área externa irrelevante, centrándose exclusivamente en la silueta del objetivo. Este procedimiento incrementa la precisión del sistema de detección al aislar la información innecesaria y reducir el ruido en los datos capturados.

Bucle de detección y cálculo de puntuación: Una vez finalizada la configuración y calibración, el sistema entra en un bucle continuo de detección. Este bucle monitorea de manera constante los datos capturados en el

PictureBox, donde se detecta el impacto del láser en la silueta. Los resultados de la detección se muestran en tiempo real en la interfaz gráfica, junto con el puntaje correspondiente calculado en función de la zona de impacto.

El procedimiento para calcular el puntaje del disparo se ilustra en detalle en la Figura 5, donde se especifican los criterios de asignación de puntos según la proximidad al centro de la silueta.

Figura 5. Frecuencia del Tipo de Deterioro con Método ESPF



Fuente: Elaboración Propia

Almacenamiento de resultados y reinicio del sistema: Al concluir el bucle de detección, el puntaje final se almacena en la base de datos SQLite para su posterior análisis y registro. El ciclo puede finalizar automáticamente, o el usuario puede optar por presionar el botón de "Reiniciar", lo que permite resetear el sistema para el siguiente tirador, manteniendo la configuración establecida previamente.

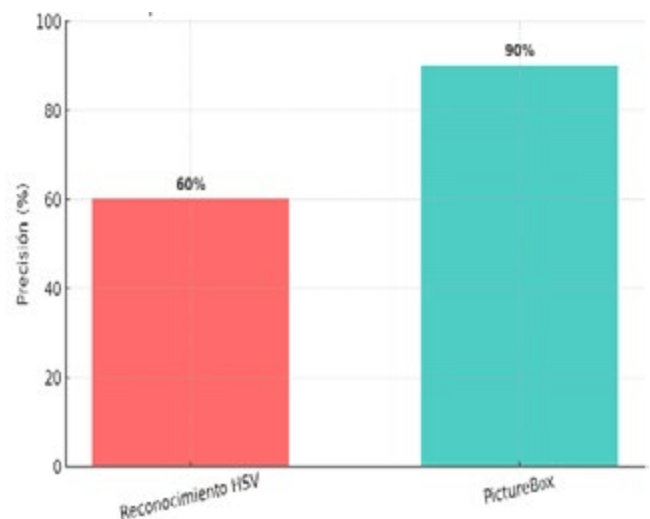
RESULTADOS

Las pruebas experimentales demostraron diferencias significativas entre los métodos de detección evaluados. El reconocimiento por color mostró una precisión del 60%, afectada por variaciones lumínicas y presencia de ruido visual. En contraste, el método basado en áreas definidas logró una precisión del 90% y redujo los falsos positivos al 10%. La incorporación del entorno gráfico y la calibración por zonas permitieron un seguimiento más estable del haz de luz, garantizando detección confiable en tiempo real. El sistema mostró compatibilidad con cámaras PTZ, permitiendo ajustar los parámetros de captura según el entorno de práctica.

Se realizaron pruebas con dos métodos de detección de disparos láser, cuyo desempeño se comparó en términos de precisión, falsos positivos y sensibilidad a las condiciones ambientales. Los métodos probados son:

- Reconocimiento por color (primer método aplicado en el artículo): Este método se basaba en el reconocimiento de colores, tanto de la silueta como del láser. Los resultados mostraron que, aunque funcional, este enfoque era altamente sensible a las condiciones ambientales. Factores como cambios en la iluminación o interferencias externas alteraban la detección, generando un número considerable de falsos positivos. Además, la precisión se vio comprometida, alcanzando solo un 60%. La tasa de falsos positivos fue del 40%, lo que significa que casi la mitad de las detecciones no eran válidas.
- Detección mediante áreas definidas en PictureBox (segundo método aplicado para la detección laser para tiro de escuela): En este enfoque, se mejoró la precisión al permitir al usuario definir áreas de detección directamente dentro del componente gráfico PictureBox, eliminando las áreas externas irrelevantes. Esto redujo significativamente los falsos positivos (10%) y aumentó la precisión al 90%. Al aislar la silueta de las condiciones del entorno, este método mostró una mayor robustez frente a cambios en el ambiente, manteniendo una sensibilidad más controlada (70%).

Figura 6. Comparación de Precisión de ambos métodos de detección



Fuente: Elaboración Propia



CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

El diseño inicial basado en reconocimiento de color dentro del espacio HSV demostró la viabilidad técnica del uso de visión artificial para la detección de disparos láser en entornos controlados. Sin embargo, este método presentó una sensibilidad significativa a las condiciones de iluminación ambiental, lo que generó una tasa de falsos positivos del 40%. A pesar de esta limitación, el prototipo permitió establecer los parámetros fundamentales de calibración, segmentación y detección, constituyendo la base sobre la cual se desarrolló la versión optimizada del sistema. Se concluye que la implementación con OpenCV es funcional, pero requiere mecanismos de compensación luminosa o filtrado adaptativo para aplicaciones en ambientes reales de instrucción.

La optimización del sistema mediante la implementación de detección por áreas específicas permitió una mejora significativa en la precisión del reconocimiento, incrementándola al 90%, con una reducción de falsos positivos al 10%. Este avance se atribuye a la delimitación del área de análisis, que eliminó interferencias externas y estabilizó la detección en condiciones lumínicas variables. El nuevo flujo de trabajo, apoyado en la biblioteca AForge.NET, facilitó una detección más robusta y confiable, cumpliendo plenamente el objetivo de aumentar la exactitud operativa del sistema de tiro virtual.

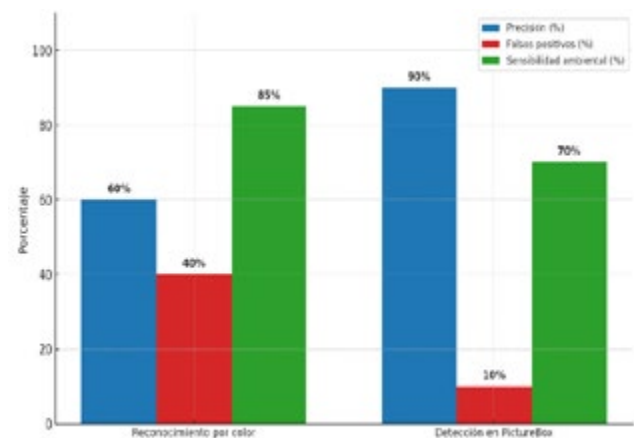
La aplicación de escritorio desarrollada logró una integración efectiva entre el procesamiento visual, la configuración personalizada del entorno de práctica y el registro automatizado de resultados en una base de datos SQLite. El sistema posibilita la configuración de cámaras PTZ, la calibración del área de detección, la selección de resolución, y la asignación dinámica de zonas de puntuación (3, 4, 5 y 5V), estandarizadas conforme al Manual de Instrucción de Tiro de la EMI. Este nivel de personalización garantiza que cada sesión de práctica mantenga coherencia con los parámetros operativos institucionales, además de permitir la trazabilidad de los resultados de cada tirador.

Las pruebas experimentales evidenciaron que el sistema final es funcional y estable en entornos de práctica de tiro virtual, alcanzando una precisión del 90% y manteniendo una sensibilidad ambiental del 70%, lo cual es aceptable para simulaciones de entrenamiento en interiores. Los resultados confirman que el método de detección basado en áreas definidas es más robusto frente a variaciones lumínicas que el enfoque HSV, asegurando la continuidad operativa del sistema. No obstante, se reconoce la necesidad de incorporar

técnicas de inteligencia artificial (como redes neuronales convolucionales) para futuras versiones que busquen incrementar la adaptabilidad del sistema a condiciones ambientales cambiantes.

La Figura 7 ilustra claramente esta mejora, comparando ambos métodos en términos de precisión, falsos positivos y sensibilidad ambiental.

Figura 7. Comparación de métodos de detección



Fuente: Elaboración Propia

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflicto de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] González, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital Image Processing (4th ed.).
- [2] Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media.
- [3] Troelsen, A., & Japikse, P. (2017). Pro C# 7: With .NET and .NET Core. Apress.
- [4] Petzold, C. (2013). Programming Windows: Writing Windows 8 Apps with C# and XAML. Microsoft Press.
- [5] Szeliski, R. (2011). Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer.
- [6] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE Conference on

Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770–778.

- [7] Zhang, Z. (2020). A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11), 1330–1334.

**Bryan Jose Atahuichi Pinto.**

Ingeniero de Sistemas titulado de la Escuela Militar de Ingeniería.

Diplomado en Educación Superior Universitaria.

Diplomado en Planificación y Desarrollo de Competencias Profesionales.

Diplomado en Gestión Educativa.

Investigador de la Escuela Militar de Ingeniería en el área de Desarrollo

de Software y Simulación.