



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Electrónica

“EVALUACIÓN DE UN SISTEMA CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA DETECCIÓN DE CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA EN PERSONAL DEL AREA DE SALUD EN TRUJILLO, 2024”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Electrónico

Autores:

Daniela Mercedes Carrion Cruzado
Sebastian Alonso Gonzales Campos

Asesor:

Dr. Ricardo Manuel Rossi Valverde
<https://orcid.org/0000-0003-1424-8261>

Trujillo - Perú

2025


JURADO EVALUADOR

| | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | CESAR AUGUSTO CIRIACO MARTINEZ |
| | Nombre y Apellidos |

| | |
|----------|--------------------------------------|
| Jurado 2 | HENRRY JOSUE VILLANUEVA BAZAN |
| | Nombre y Apellidos |

| | |
|----------|--------------------------------------|
| Jurado 3 | RICARDO MANUEL ROSSI VALVERDE |
| | Nombre y Apellidos |

Informe de Similitud

 **turnitin** Página 2 of 85 - Integrity Overview Identificador de la entrega trnoid:::1:3250430682



1% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report


- ▶ Bibliography

Top Sources

- 1%  Internet sources
- 1%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
80 suspect characters on 1 page
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dedicatoria

A mis padres y abuelos,
quienes han sido mi mayor apoyo para
alcanzar mis metas y son el motivo por el que
me esfuerzo cada año.

Daniela Mercedes Carrión Cruzado

A mi amado padre que recordaré por siempre.

A mi madre y hermanos, que han
sido siempre el motor de mi vida y me han apoyado
en todo momento sin importar las circunstancias.

Sebastián Alonso Gonzales Campos

Agradecimiento

A nuestros maestros por todo el conocimiento
que nos brindaron desde el primer ciclo en la universidad,
y a mi compañero de tesis Sebastián Gonzales por apoyarme en
la elaboración de la presente investigación.

Daniela Mercedes Carrión Cruzado

A nuestro asesor y a los ingenieros de la
Facultad, por brindarnos todo su conocimiento
y apoyo en esta investigación; y a mi compañera
Daniela Carrión, por el esfuerzo
dedicado a nuestra tesis.

Sebastian Alonso Gonzales Campos

Tabla de contenidos

| | |
|--|----|
| Índice de tablas | 7 |
| Índice de Figuras..... | 8 |
| Resumen | 8 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA..... | 10 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 29 |
| 1.3. OBJETIVOS | 29 |
| 1.4. HIPÓTESIS | 29 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 31 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | 45 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES..... | 55 |
| REFERENCIAS | 66 |
| ANEXOS | 74 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Tabla de Contaminación Antes y Después del Lavado por Sujeto de Estudio.</i> | 45 |
| Tabla 2 <i>Conteo de píxeles blancos antes y después del lavado clínico y reducción porcentual</i> | 48 |
| Tabla 3 <i>Estadísticos descriptivos del conteo de píxeles blancos</i> | 50 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Placa de Petri conteniendo varias colonias de microorganismos | 24 |
| Figura 2 <i>Espectro Electromagnético y Luz Visible</i> | 25 |
| Figura 3 <i>Manos brillando debido a la Fluorescencia</i> | 26 |
| Figura 4 <i>Fluoresceína brillando en frasco bajo luz ultravioleta</i> | 27 |
| Figura 5 <i>Imagen referencial de Bioseguridad</i> | 28 |
| Figura 6 <i>Diagrama de clasificación de la investigación</i> | 32 |
| Figura 7 Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos | 39 |
| Figura 8 <i>Diagrama de flujo del procedimiento de procesamiento de datos</i> | 42 |
| Figura 9 <i>Histograma de personal apto para intervenciones</i> | 47 |
| Figura 10 <i>Resultados de prueba de normalidad</i> | 51 |
| Figura 11 <i>Resultados de prueba de normalidad</i> | 52 |
| Figura 12 <i>Resultados de prueba de contrastación de hipótesis variable 1</i> | 53 |
| Figura 13 <i>Resultados de prueba de contrastación de hipótesis variable 2</i> | 53 |

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como propósito evidenciar la cantidad de contaminación biológica presente en las manos del personal del área de salud, permitiendo así corregir malas prácticas de higiene y lavado de manos con el fin de evitar la propagación de microorganismos durante intervenciones quirúrgicas o al interactuar con pacientes. En ese sentido, el objetivo principal consistió en implementar un prototipo de sistema basado en radiación ultravioleta para la detección de contaminación biológica en profesionales del sector salud en Trujillo – Perú, durante el año 2024. Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con nivel aplicativo y diseño experimental de tipo pre-experimental. La muestra estuvo conformada por 18 profesionales que laboran en instituciones de salud como hospitales, clínicas y centros odontológicos. A dichos participantes se les aplicó un tinte fluorescente a base de fluoresceína sódica al 2 % durante el procedimiento de lavado de manos, y se tomaron imágenes digitales que fueron posteriormente procesadas mediante un software de análisis de imágenes. Para el análisis estadístico, se utilizó el software SPSS aplicando la prueba no paramétrica de Wilcoxon, obteniéndose una significación asintótica menor a 0.001, lo que evidenció una detección eficaz de la contaminación antes y después del lavado de manos. En consecuencia, se logró alcanzar todos los objetivos planteados, validando de manera favorable la eficacia del sistema de radiación ultravioleta propuesto. Los resultados obtenidos aportan una base tecnológica viable para fortalecer las prácticas de higiene en el personal de salud y reducir el riesgo de infecciones asociadas a la atención médica.

Palabras clave: radiación ultravioleta, contaminación biológica, higiene, lavado de manos, fluoresceína.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente, uno de los peligros más serios para la salud global y de quienes habitamos el planeta es la contaminación. Al medio ambiente no solo llegan desechos sólidos, sino también residuos de antibióticos, sus metabolitos, bacterias resistentes y genes de resistencia. Todos estos forman parte de los denominados "contaminantes emergentes", los cuales, aunque no son nuevos, han sido detectados y analizados con mayor precisión en los últimos años gracias a los avances científicos y tecnológicos. Se ha establecido que estos tienen una elevada capacidad de persistencia, amplificación y diseminación en el entorno, lo que los convierte en una amenaza significativa tanto para la naturaleza como para la salud humana y animal (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2021).

Una práctica ampliamente difundida a nivel mundial es el lavado de manos, considerado fundamental dentro de una cultura orientada al autocuidado y la prevención. Sin embargo, fue a partir del año 2020, con la pandemia por la COVID-19, que esta práctica se masificó, convirtiéndose en una recomendación esencial promovida por medios de comunicación, redes sociales y autoridades sanitarias en diversos espacios sociales, laborales y familiares (OPS, 2021).

Según la OPS, la higiene adecuada de manos representa el método más seguro y económico para evitar la propagación y el contagio de enfermedades. Lamentablemente, muchos profesionales del sector salud omiten esta práctica al momento de atender pacientes. Como consecuencia, se incrementa la prevalencia de infecciones intrahospitalarias, las cuales provocan la muerte de aproximadamente 700,000 personas

anualmente a nivel mundial. Se estima que esta cifra podría alcanzar los 10 millones de fallecidos en el año 2050 si no se adoptan medidas correctivas (OPS, 2021).

En el ámbito sanitario, la correcta desinfección tanto del instrumental médico como del personal asistencial es una prioridad, lo cual demanda el cumplimiento riguroso de las normas de bioseguridad. El lavado de manos constituye la principal medida para evitar la transmisión de infecciones, pero, a pesar de ello, no todos los trabajadores del sector salud la realizan de forma adecuada (Anaya et al., 2015). No obstante, el incumplimiento de los protocolos no es la única causa del problema, ya que también intervienen factores como el desconocimiento de las consecuencias de no hacerlo, la escasa accesibilidad a puntos de lavado y el hecho de que muchos trabajadores no son conscientes de que sus manos están contaminadas (Cortizas y Rumbo, 2015).

Durante la pandemia de COVID-19 en China, se reportó que 3,387 profesionales de la salud contrajeron el virus, siendo las superficies contaminadas y los ambientes inseguros las principales causas de contagio (Wang et al., 2020). En respuesta, el gobierno chino adoptó medidas que incluyeron la implementación de tecnologías para la desinfección y la detección de la contaminación, además de promover la investigación en métodos de desinfección más eficaces y seguros (Fei et al., 2020).

En el caso de México, aunque Europa y Estados Unidos reportan aproximadamente 3.2 y 2 millones de casos de infecciones intrahospitalarias respectivamente, su incidencia sigue siendo menor que la observada en el país latinoamericano. Este fenómeno se atribuye, en parte, a la contaminación de soluciones médicas y a la presencia significativa de bacterias en entornos clínicos (OPS, 2018). Frente a esta problemática, el Gobierno del Estado de México implementó estrategias que incluyeron el reforzamiento de la desinfección de manos y el uso de nuevas tecnologías

para la identificación de la contaminación biológica en los ambientes hospitalarios (Mancilla y Olvera, 2020).

A nivel nacional, en Perú, se ha estimado una prevalencia de 7.5% en infecciones intrahospitalarias, atribuida principalmente a la contaminación microbiana detectada en los equipos médicos (Chincha et al., 2013). En este contexto, el país cuenta con la Norma Técnica de Salud para la Vigilancia de las Infecciones Asociadas a la Atención de Salud, la cual establece que dichas infecciones pueden originarse por la contaminación del personal asistencial o del equipo médico (Perú. Ministerio de Salud, 2020).

En la región La Libertad, la contaminación biológica se presenta cada vez con mayor frecuencia, no solo en superficies sino también en personas. Esta situación ha incrementado el interés por conocer los niveles de contaminación presentes en diversos entornos. Sin embargo, esta necesidad se ve limitada por la falta de equipos adecuados para la detección precisa de dichos niveles. Uno de los principales desafíos es la escasa investigación y conocimiento sobre los dispositivos tecnológicos necesarios para esta labor (Peláez, 2019).

En el ámbito local, específicamente en la ciudad de Trujillo, la detección de contaminación biológica se ha realizado tradicionalmente mediante el uso de microscopios en laboratorios de microbiología. No obstante, estos métodos resultan costosos y lentos, pudiendo requerir hasta varios días o incluso semanas para obtener resultados definitivos. Por ejemplo, en una investigación local, las muestras fueron incubadas durante 24 horas, y si no producían ácidos o gases, eran reexaminadas después de otro período de 24 horas. Este procedimiento resulta poco eficiente cuando se requiere una identificación inmediata de la contaminación biológica (Carranza, 2019).

Se consideraron los siguientes estudios como antecedentes sobre el sistema de luz ultravioleta en la detección de contaminación biológica:

Los autores Dray et al. (2020) en su investigación "Using an ultraviolet cabinet improves compliance with the World Health Organization's hand hygiene recommendations by undergraduate medical students: a randomized controlled trial", publicado en la revista *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, tuvo como objetivo evaluar si el uso de cabinas ultravioletas (UVC) combinadas con alcohol en gel fluorescente (AHR) mejora a largo plazo (un año después) la completitud de la técnica de fricción con alcohol y el cumplimiento de la higiene de manos según la OMS en estudiantes de segundo año de medicina. Se diseñó un ensayo controlado aleatorizado con 242 participantes divididos en grupo intervención (n=140) y control (n=102); el grupo intervención recibió entrenamiento estándar más uso de alcohol fluorescente y retroalimentación visual mediante cabinas UV (Daro UV Systems©, 365 nm), repitiendo el procedimiento hasta lograr cobertura completa, mientras que el grupo control solo recibió supervisión visual. Los resultados mostraron que la completitud de la fricción alcohólica alcanzó el 60 % en el grupo intervención frente al 30.4 % en el control ($p < 0.001$), y el cumplimiento con las oportunidades de higiene OMS fue de 58.1 % versus 42.4 % ($p = 0.018$); además, la intervención aumentó 3.84 veces la probabilidad de lograr una aplicación completa de alcohol. Las limitaciones incluyeron la falta de evaluación UV inicial para el grupo control y que las cabinas no permitían almacenamiento de imágenes ni análisis digital. Se concluyó que el uso de fluorescencia UV-A con retroalimentación inmediata mejora significativamente la técnica y adherencia a la higiene de manos en estudiantes. Este estudio respalda el uso de fluoresceína sódica y luz UV-A en nuestro sistema, que además supera las limitaciones del estudio original al

incorporar portabilidad (ESP32), bajo costo, análisis automático de imagen (OpenCV) y registro digital de resultados, ampliando su aplicabilidad a entornos clínicos reales y formación continua del personal de salud.

Los autores Chiu et al. (2023) en su artículo "Prediction of Contaminated Areas Using Ultraviolet Fluorescence Markers for Medical Simulation", publicado en Bioengineering, tuvo como objetivo desarrollar y validar una aplicación móvil que permitiera calcular el área de contaminación fluorescente en entornos médicos usando solo un teléfono inteligente, como alternativa a softwares tradicionales de análisis de imagen que requieren computadoras y no ofrecen retroalimentación en tiempo real. Para ello, se creó una app en Android Studio integrada con OpenCV, capaz de capturar imágenes de superficies contaminadas con marcador fluorescente (Glo Germ), convertirlas a escala de grises, aplicar binarización mediante el algoritmo de Otsu y calcular el área contaminada en relación al área total. La metodología incluyó validaciones usando áreas reales conocidas (monedas y papeles), control de distancia cámara-superficie y aplicación en una simulación de intubación médica. Los resultados demostraron un error de medición de aproximadamente 6 % a distancias de 50–100 cm bajo luz controlada, y la app permitió identificar y calcular exitosamente las áreas contaminadas en guantes y maniquí. Como limitaciones, se reportaron variaciones por movimiento manual, alteraciones por luz ambiental no controlada y errores en superficies reflectantes; además, la app no medía intensidad de fluorescencia sino solo el área. Se concluyó que el sistema era rápido, portátil y de bajo costo para uso educativo en control de infecciones. Este estudio respalda el uso de procesamiento de imágenes con OpenCV y algoritmos de binarización en nuestro sistema, que además supera las limitaciones del estudio original al incorporar no solo el cálculo de áreas contaminadas, sino también la

posibilidad de registrar intensidad de fluorescencia mediante histogramas, con un diseño optimizado que emplea ESP32, luz UV-A calibrada y caja negra para minimizar interferencias lumínicas, permitiendo la detección precisa y económica de contaminación biológica en manos humanas.

Los autores Raizman et al. (2019) en la investigación "Use of a bacterial fluorescence imaging device: wound measurement, bacterial detection and targeted debridement", publicado en Journal of Wound Care, tuvo como objetivo evaluar la precisión y utilidad clínica del dispositivo portátil MolecuLight i:X, que combina imágenes por fluorescencia bacteriana y medición digital de heridas. La metodología incluyó primero la validación del software de medición en 17 modelos de heridas de dimensiones conocidas sobre diversas superficies, usando medición automática y manual por cinco clínicos. Luego se aplicó en 50 heridas reales (úlceras diabéticas, venosas, arteriales y quirúrgicas), capturando imágenes estándar y fluorescentes con calibración de área. Además, se realizaron cultivos bacterianos tanto con hisopado estándar como con curetaje guiado por fluorescencia. En una fase clínica adicional se usó el dispositivo para dirigir desbridamientos en 22 úlceras diabéticas. Los resultados mostraron una precisión superior al 95 % en medición de heridas, con menor variabilidad entre usuarios comparado con métodos tradicionales. La fluorescencia bacteriana se detectó en el 72 % de las heridas, evidenciando localización periférica que los hisopos no identificaban. En el 85 % de los casos, el dispositivo permitió realizar desbridamientos adicionales precisos sobre zonas contaminadas tras desbridamientos estándar. Como limitaciones, el equipo solo detectaba bacterias hasta 1.5 mm de profundidad y no identificaba especies bacterianas ni resistencia antimicrobiana. Se concluyó que el uso de fluorescencia violeta (405 nm) combinada con análisis de imagen mejora la detección de bacterias y la

precisión del tratamiento en tiempo real en entorno clínico. Este estudio respalda la eficacia de usar fluorescencia dirigida y análisis de imagen para detección microbiana como en nuestro sistema, que además supera varias limitaciones al emplear fluoresceína sódica (que permite visualización más superficial y cuantificación por intensidad de fluorescencia), luz UV-A calibrada para seguridad en piel humana y análisis automatizado con OpenCV, ofreciendo una solución económica y adaptable para detección de contaminación en manos humanas.

Los autores Kesavan y Sasikumar (2022) en su investigación "Clinical significance of a novel imaging device to evaluate infection on wounds: Performance comparison with culture method and metagenome sequencing", publicado en *Frontiers in Medicine*, tuvo como objetivo evaluar la precisión y eficacia del dispositivo portátil Illuminate®, que combina imágenes de autofluorescencia multispectral para detectar carga bacteriana y clasificar bacterias gram positivas y gram negativas en úlceras de pie diabético. Se realizó un estudio clínico con 157 pacientes (177 biopsias), utilizando múltiples longitudes de onda (UV-A y violeta) para excitar autofluorescencia bacteriana. La captura de imágenes (15 espectros por herida en menos de 20 segundos) fue seguida de procesamiento de imagen con umbralización, extracción de características espectrales (NAD(P)H, flavinas, porfirinas y pyoverdina) y segmentación automática de la herida. Además, se aplicó un algoritmo de aprendizaje automático (random forest) para clasificar la presencia bacteriana y su tipo gram, validando los resultados con cultivos estándar y secuenciación metagenómica 16S rRNA. Los resultados mostraron que el dispositivo detectó bacterias con una precisión promedio del 90.4 % y una concordancia Kappa de 0.774 con cultivos ($p < 0.001$); en 5 de 9 casos donde los cultivos fallaron, el dispositivo y la secuenciación genética identificaron bacterias, demostrando mayor sensibilidad que

el cultivo tradicional. Como limitaciones, el dispositivo no podía identificar especies bacterianas ni medir resistencia a antibióticos, y requería ambientes controlados para evitar interferencias por autofluorescencia natural o productos médicos fluorescentes. Se concluyó que la autofluorescencia multispectral combinada con aprendizaje automático permite una evaluación rápida y precisa de biocarga bacteriana y guía decisiones terapéuticas en tiempo real. Este estudio respalda el uso de fluorescencia UV-A y análisis de imagen automatizado en nuestro sistema, que, aunque no busca clasificar tipo gram, permite detectar contaminación superficial en manos humanas con fluoresceína sódica y un sistema de visión artificial (OpenCV) que, al igual que el Illuminate®, aplica segmentación y cuantificación de áreas contaminadas, pero con un diseño accesible, seguro (UV-A calibrada) y portátil mediante ESP32.

Los autores Yılmaz y Yüksel (2024), en su estudio *"The Effect of Using Fluorescent Concretization Intervention on Hand Hygiene Training in Primary School Students"* en la revista Sağlık Bilimleri Üniversitesi Hemşirelik Dergisi (SBÜHD) tuvo como objetivo evaluar el impacto de un programa educativo con retroalimentación visual mediante fluorescencia (visual concretization) sobre las habilidades psicomotoras y la eficacia del lavado de manos en niños de primaria. Se realizó un ensayo clínico aleatorizado con 70 estudiantes de segundo grado divididos en grupo intervención (n=35) y grupo control (n=35). El grupo intervención aplicó loción fluorescente Dermalux antes de lavar las manos y utilizó una lámpara UVA (Derma Litecheck) para visualizar, tras el lavado, las áreas no limpiadas correctamente, con retroalimentación visual directa. El grupo control realizó el lavado sin retroalimentación visual y posteriormente recibió una demostración educativa. Los resultados mostraron una mejora significativa en la eficacia del lavado de manos en todas las áreas evaluadas del grupo intervención ($p < 0.001$), un

incremento de 89 % en la duración del lavado (de 33 a 64 segundos) y mejoras en 11 de los 14 pasos evaluados por la Hand Washing Skill Checklist, mientras que el grupo control solo mejoró en 3 pasos y aumentó el tiempo de lavado un 20 %. También se observaron mejoras significativas en actitudes, control conductual percibido e intención de comportamiento en el grupo intervención. Como limitaciones, el estudio no utilizó análisis de imagen automatizado ni aprendizaje automático, y se aplicó solo en un grupo etario específico (niños). Se concluyó que la retroalimentación visual con fluorescencia es altamente efectiva para mejorar la técnica, duración y comportamiento en la higiene de manos. Este estudio respalda el uso de fluorescencia UV-A y retroalimentación visual como herramienta educativa, principios que nuestro sistema amplía al incorporar fluoresceína sódica como marcador, visión por computadora con OpenCV para cuantificación automática, y portabilidad mediante ESP32, mejorando la precisión, aplicabilidad y adaptabilidad del entrenamiento en higiene de manos tanto en contextos educativos como clínicos.

Los autores Bolcato et al. (2023), en su trabajo titulado "Preventing Healthcare-Associated Infections: Hand Disinfection Monitoring Using an Automated System in an Italian Neurological Hospital" publicado en *healthcare*, tuvieron como objetivo evaluar la calidad de la técnica de desinfección de manos en empleados de un hospital neurológico italiano utilizando el sistema automatizado HandInScan®, que combina fluorescencia y procesamiento de imagen para cuantificar la cobertura de gel desinfectante. Participaron 222 trabajadores de salud y administrativos, quienes realizaron la técnica de seis pasos de la OMS con un gel hidroalcohólico marcado con tinte fluorescente (<0.02 %). La cobertura de manos fue evaluada automáticamente en tres momentos (noviembre 2021, junio 2022, diciembre 2022). El dispositivo capturó imágenes bajo luz UV y segmentó

áreas cubiertas y no cubiertas, proporcionando retroalimentación visual inmediata. Los resultados mostraron una mejora progresiva significativa: la cobertura media inicial fue 74.5 % (palma 82.2 %, dorso 66.8 %), y al final alcanzó 94.5 % (palma 97.2 %, dorso 91.8 %), con $p < 0.05$ para todas las comparaciones. El personal sanitario superó el umbral óptimo del 95 % en la evaluación final, coincidiendo con una reducción en la tasa de infecciones asociadas a la atención en salud (HAIs) de 5.9 % a 3.6 %. Entre las limitaciones se incluyó que el sistema no incorporaba aprendizaje automático avanzado y requería condiciones controladas de iluminación. Se concluyó que el uso de fluorescencia y procesamiento de imagen automatizado es altamente efectivo para monitorear y mejorar la técnica de higiene de manos, proporcionando retroalimentación visual inmediata. Este estudio respalda el uso de fluoresceína y algoritmos de visión por computadora en nuestro sistema, que replica el principio de cuantificación automática de cobertura con fluorescencia, pero añade portabilidad mediante ESP32, análisis avanzado con OpenCV y un diseño accesible que permite aplicar la técnica directamente sobre manos humanas en tiempo real.

Los autores Knol et al. (2024), en "Development and Implementation of an Ultraviolet-Dye-Based Qualification Procedure for Hand Washing and Disinfection to Improve Quality Assurance of Pharmacy Preparations and Compounding, Especially in Cleanrooms: A Pilot Study" en la revista *pharmacy*, se tuvo como objetivo desarrollar e implementar un procedimiento de evaluación de la higiene de manos basado en tinte ultravioleta (UV) para calificar la competencia de operadores de cleanroom en lavado y desinfección de manos, con el fin de fortalecer la garantía de calidad en la preparación de medicamentos estériles conforme a las Buenas Prácticas de Manufactura (GMP). Participaron 25 operadores previamente calificados, de los cuales 21 realizaron lavado y

25 desinfección de manos. Se aplicaron lociones y soluciones desinfectantes con tinte UV y se siguió el protocolo de seis pasos de la OMS. Posteriormente, se capturaron imágenes bajo luz UV utilizando una cámara de 8 MP (Xiaomi REDMI A1) y una Derma LiteCheck® Box. Los errores se clasificaron como menores ($<0.6 \text{ cm}^2$) o mayores según las áreas sin cubrir. Los resultados mostraron que el 90 % de los operadores cumplieron los criterios UV en lavado y el 76 % en desinfección, siendo esta última donde el método UV detectó errores que la observación convencional no identificaba ($p = 0.03$). Las áreas más frecuentemente omitidas fueron el dorso de las manos y los pulgares. Aunque no se empleó aprendizaje automático, el método fue validado con sensibilidad del 95 % y especificidad del 98 %. Como limitaciones, la evaluación fue manual y el estudio se centró en un entorno altamente controlado (cleanroom). Se concluyó que la evaluación con fluorescencia UV proporciona retroalimentación inmediata y detecta deficiencias que escapan a la observación tradicional, mejorando significativamente la técnica de higiene de manos en entornos críticos. Este estudio respalda el uso de fluoresceína y luz UV-A en nuestro sistema, al demostrar que la fluorescencia no solo permite identificar áreas omitidas, sino que también supera las limitaciones de la observación subjetiva. Además, nuestro dispositivo amplía esta metodología mediante el análisis automático con OpenCV y portabilidad (ESP32), facilitando la implementación en diversos entornos clínicos y educativos, no limitados a cleanrooms.

Los autores Suker et al. (2021), en su artículo titulado "*Handheld Multispectral Fluorescence Imaging System to Detect and Disinfect Surface Contamination*" publicado en la revista Sensors, tuvo como objetivo desarrollar y validar un sistema portátil de imagen multiespectral por fluorescencia (CSI-D) capaz de detectar, desinfectar y documentar residuos orgánicos invisibles y biofilms en superficies de manipulación de

alimentos. El sistema combinó iluminación con LEDs de 275 nm (UVC) y 405 nm (violeta), cámaras RGB y UV, y un procesador integrado. Se utilizó un algoritmo de umbral adaptativo para segmentar imágenes y detectar contaminantes como saliva, gotas respiratorias, residuos vegetales, grasas y proteínas. Para validar la capacidad de desinfección, se expusieron patógenos (*Aspergillus fumigatus*, *Streptococcus pneumoniae* e influenza A) a luz UVC con distintas densidades de energía. Los resultados mostraron que el sistema detectó residuos de hasta 0.13 mm de diámetro en acero y logró desactivar más del 99.99 % de los patógenos en menos de 10 segundos, con reducciones microbianas de hasta 5-log. Se creó además una base de datos de imágenes para documentar y rastrear la limpieza de superficies. Entre las limitaciones se mencionó la posibilidad de falsos positivos o negativos bajo iluminación variable y que el sistema solo indicaba la presencia/ausencia de contaminación sin cuantificar carga microbiana. Se concluyó que la combinación de fluorescencia, algoritmos de procesamiento de imágenes y UVC permite una herramienta eficaz para auditorías de limpieza en tiempo real, con potencial de adaptación a entornos hospitalarios o de laboratorio. Este estudio respalda el uso de visión por computadora con algoritmos de umbralización y segmentación en tiempo real, metodología que nuestro sistema replica mediante el empleo de **fluoresceína sódica y análisis automático con OpenCV**, optimizado para detectar y cuantificar contaminación biológica en manos humanas. Además, el enfoque de portabilidad y base de datos de imágenes que propone el CSI-D refuerza la viabilidad de integrar funciones de seguimiento y documentación en nuestro dispositivo basado en ESP32 y Python, aunque nuestra aplicación se centra en detección sin función de desinfección para garantizar seguridad en piel humana.

La presente investigación se justifica por el hecho de que el campo abordado aún no ha sido ampliamente estudiado, por lo que representa una contribución relevante al generar una base sólida de pruebas que podrá ser utilizada por futuros investigadores interesados en esta área. Además, el sistema de detección mediante luz ultravioleta propuesto permitirá un mejor control de la bioseguridad en los centros de salud donde sea implementado, contribuyendo así a mejorar los estándares de higiene del personal sanitario.

El proyecto destaca por su bajo costo de implementación y por la facilidad de uso del sistema. A diferencia de investigaciones previas que emplean equipos más sofisticados y costosos, esta propuesta logra resultados similares utilizando tecnología accesible. De igual forma, responde a una necesidad social al contribuir a la reducción de la contaminación durante procedimientos quirúrgicos y prevenir el contagio de enfermedades asociadas a una deficiente higiene, tal como ha sucedido en diversas ocasiones documentadas.

Como se mencionó, el sistema de detección con luz ultravioleta se elabora con materiales económicos, lo que facilita su implementación en instituciones tanto del sector público como privado. Además, su mantenimiento no requiere inversiones significativas. Es importante señalar que este sistema no demanda un alto consumo energético ni genera residuos contaminantes, a diferencia de otros métodos de detección microbiológica. Por lo tanto, su aplicación minimiza el impacto ambiental, lo que representa una ventaja adicional frente a otras tecnologías utilizadas en investigaciones anteriores.

Para agregar, en el presente trabajo de investigación se recolectaron los siguientes conceptos:

Sistemas de luz ultravioleta:

Los sistemas de luz ultravioleta para la detección son equipos que emplean la radiación electromagnética de onda muy corta para identificar la presencia de ciertas sustancias o fenómenos que emiten o absorben esta radiación. La luz ultravioleta puede revelar características que no son visibles a simple vista, como marcas de seguridad, manchas orgánicas, huellas dactilares o llamas. Los sistemas de luz ultravioleta para la detección se basan en el principio de la espectroscopia, que consiste en medir la cantidad de radiación que una muestra absorbe o emite a diferentes longitudes de onda¹. Los sistemas de luz ultravioleta para la detección tienen diversas aplicaciones en el ámbito forense, industrial, ambiental y de seguridad (Mettler y Toledo, s.f.).

Detección de contaminación:

La detección de contaminación es un proceso que consiste en identificar y cuantificar la presencia de sustancias o microorganismos que pueden afectar a la calidad y la seguridad de los alimentos, el agua, el aire o el suelo. La detección de contaminación se basa en el uso de técnicas analíticas que pueden medir las propiedades físicas, químicas o biológicas de las muestras. Algunas de estas técnicas son la espectroscopia, la cromatografía, la radiometría, la bioluminiscencia o la microbiología. La detección de contaminación es importante para prevenir y controlar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente, así como para garantizar el cumplimiento de las normas y los estándares internacionales (Organización Internacional de Energía Anatómica, s.f.).

Contaminación biológica:

La contaminación biológica es la alteración de la calidad y la seguridad de los recursos naturales y los alimentos por la presencia de organismos vivos o sus restos. Estos

organismos pueden ser bacterias, virus, hongos, parásitos o insectos que pueden causar enfermedades o daños a los seres humanos y otros seres vivos. La contaminación biológica puede provenir de diversas fuentes, como los desechos orgánicos, los productos agroquímicos, las aguas residuales o los residuos radiactivos. La contaminación biológica se puede detectar y medir mediante técnicas analíticas que se basan en las propiedades físicas, químicas o biológicas de las muestras. La contaminación biológica es un problema grave para la salud pública y el medio ambiente, y requiere el cumplimiento de las normas y los estándares internacionales (Organización Internacional de Energía Anatómica, s.f.).

Figura 1

Placa de Petri conteniendo varias colonias de microorganismos



Nota. Adaptado de Contaminación biológica de combustibles [Fotografía], PRODINSA, s.f., https://www.grupoprodinsa.com/blog/?contaminacion_biologica_combustibles.

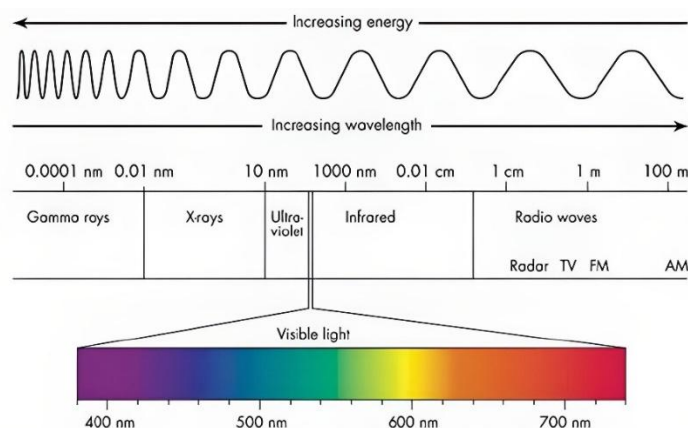
Espectroscopia ultravioleta visible:

La espectroscopia es una técnica que permite analizar las propiedades de la materia a partir de la interacción con la luz. La luz se puede absorber, reflejar, emitir o

dispersar por los átomos o las moléculas de una sustancia, y esto depende de la longitud de onda o la frecuencia de la radiación electromagnética. La espectroscopia mide la cantidad y el tipo de luz que se relaciona con la materia, y produce un gráfico llamado espectro, que muestra las distintas longitudes de onda o frecuencias en el eje horizontal y la intensidad de la luz en el eje vertical. La espectroscopia tiene muchas aplicaciones en diferentes campos de la ciencia, como la química, la física, la biología o la astronomía. (StudySmarter, s.f.).

Figura 2

Espectro Electromagnético y Luz Visible



Nota. Adaptado de Chemical Compatibility Database [Gráfico], de Cole-Parmer, 2023, Cole-Parmer. <https://cms-resources.coleparmer.com/t/chart555.jpg>.

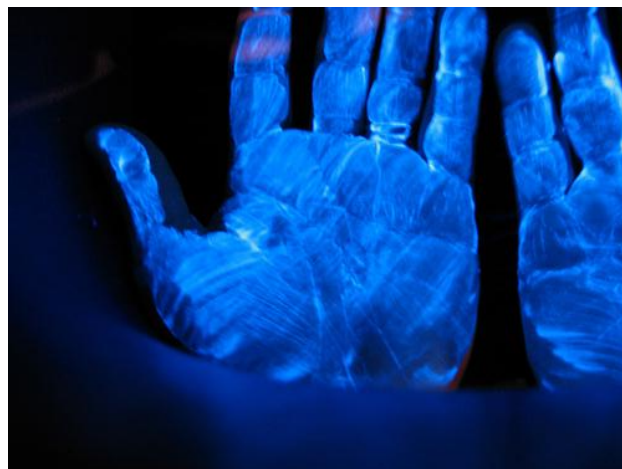
Fluorescencia:

Este llega a ser un proceso por el cual ciertos compuestos poseen la capacidad de captar ciertos tipos de luz de una longitud de onda particular, generalmente en el rango ultravioleta y luego emitir luz de una longitud de onda más larga. Esto se debe a que los electrones de las sustancias fluorescentes se excitan al recibir la luz y luego regresan a su estado original, liberando energía en forma de luz. La fluorescencia se puede observar en

muchos materiales naturales y artificiales, y tiene aplicaciones en diversos campos como la biología, la medicina, la química y el arte. Según el informe de investigación del Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR) de Chile, la fluorescencia visible inducida por rayos UV es una técnica que permite detectar y analizar las alteraciones y los tratamientos que han sufrido los objetos patrimoniales, especialmente los de naturaleza orgánica. Esta técnica se basa en la capacidad de algunos materiales de emitir fluorescencia al ser expuestos a una fuente de luz UV, lo que permite identificar su composición química, su estado de conservación y su historia de intervención (Espinosa y Rivas, 2011).

Figura 3

Manos brillando debido a la Fluorescencia



Nota. Adaptado de HyGreen: Un detector inteligente de la limpieza de manos [Fotografía], de AnestesiaR, 2009, <https://anestesar.org/2009/hygreen-un-detector-inteligente-de-la-limpieza-de-manos/>.

Fluoresceína:

La fluoresceína es un compuesto perteneciente al grupo de las xantinas, específicamente una sal de sodio de resorcinol ftaleína. Posee propiedades tanto colorantes como fluorescentes. Es soluble en agua y le confiere un tono amarillo. Cuando se encuentra en soluciones con un pH superior a cinco, su color se vuelve verde y exhibe una alta capacidad de fluorescencia. Debido a la presencia de enlaces conjugados, la fluoresceína tiene la capacidad de absorber fotones de alta energía y emitirlos como fotones de baja energía. En otras palabras, la fluoresceína absorbe luz en una determinada longitud de onda y la emite en una longitud de onda más larga. La energía liberada durante este proceso se convierte en calor, es decir, en vibraciones moleculares. Este fenómeno ocurre en un período de tiempo extremadamente corto, del orden de microsegundos (González, 2010).

Figura 4

Fluoresceína brillando en frasco bajo luz ultravioleta



Nota. Adaptado de Fluoresceína brillando en frasco bajo luz ultravioleta [Fotografía], de Kagenmi, 2021, Dreamstime.

<https://thumbs.dreamstime.com/z/fluoresce%C3%ADna-brillando-en-frasco-bajo-luz-ultravioleta-el-matraz-un-cierre-de-la-mano-del-hombre-su>.

Bioseguridad:

La bioseguridad engloba un conjunto de reglas, acciones y procesos diseñados para asegurar la seguridad y responder eficazmente ante posibles percances. En otras palabras, su propósito es prevenir riesgos o infecciones derivadas de la exposición o manipulación de agentes infecciosos. Las actividades relacionadas con sustancias biológicas pueden representar un peligro tanto para el personal como para la sociedad y el entorno en general. Por este motivo, la bioseguridad abarca medidas tanto preventivas como correctivas para hacer frente a situaciones de emergencia. (Andrada, 2020).

Figura 5

Imagen referencial de Bioseguridad



Nota. Adaptado de Prácticas de bioseguridad en el laboratorio [Fotografía],

Universidad Manuela Beltrán, 2021. <https://um.com.co/wp-content/uploads/2021/05/practicas-bioseguridad.jpg>.

1.2. Formulación del problema

Teniendo en cuenta esta información, se logra formular el principal problema que presenta esta investigación: ¿Cómo se puede evaluar la eficacia de un sistema con radiación ultravioleta en la detección de contaminación biológica en personal del área de salud en el año 2024?

Adicionalmente, se presentan los siguientes problemas secundarios:

- ¿Qué tipo de lámparas de luz LED UV ofrece un sistema eficaz y con bajo impacto ambiental?
- ¿Qué longitud de onda UV resulta óptima para detectar contaminación sin implicar riesgos para la salud del personal?
- ¿Qué nivel de sensibilidad y certeza presenta el sistema UV en la detección de contaminación biológica en personal sanitario?

1.3. Objetivos

Además, surgen y se establecen objetivos para definir de manera concreta el alcance que se le quiere dar a la investigación. Principalmente, tenemos el objetivo de evaluar la eficacia de un sistema con radiación ultravioleta en la detección de contaminación biológica en personal del área de salud en el año 2024.

De manera secundaria se establecieron los siguientes objetivos:

- Dar a conocer las ventajas de usar lámparas de luz negra o lámparas de luz germicida
- Establecer un rango seguro de longitud de onda de la luz UV para evitar daños en el personal

- Asegurar el mínimo impacto ambiental implementando un prototipo con materiales seguros y no contaminantes
- Determinar la sensibilidad del sistema y la fiabilidad del mismo
- Definir el grado de certeza del uso de un sistema de luz ultravioleta en la detección de contaminación

1.4. Hipótesis

De igual manera, surge una hipótesis que responde a nuestro problema principal, la cual es:

HG₀: Un sistema con radiación ultravioleta no tiene un efecto positivo en la detección de contaminación biológica llevado a cabo en personal del área de salud en el año 2024.

HG_a: Un sistema con radiación ultravioleta tiene un efecto positivo en la detección de contaminación biológica llevado a cabo en personal del área de salud en el año 2024.

Esta hipótesis general deriva en las siguientes hipótesis específicas:

- Las longitudes de onda cortas en los sistemas UV afectan a la salud del personal.
- El sistema de luz ultravioleta basado en LEDs presenta un impacto ambiental mínimo a comparación de una lámpara de mercurio.
- El sistema es fiable y presenta sensibilidad ante la fluorescencia.
- El sistema es certero y detecta la contaminación de manera efectiva.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Diseño

Se optó por realizar un enfoque del tipo cuantitativo, el cual según Tamayo (2007) consiste en la comparación de teorías ya propuestas a partir de hipótesis surgidas de la misma, siendo indispensable el estudio de una muestra. Esto permite recopilar datos numéricos específicos acerca de la eficacia del sistema a implementar, y también proporciona una base sólida para evaluar objetivamente la utilidad del mismo.

La investigación es del tipo aplicada, que se centra en generar conocimiento que tenga una aplicación directa en la resolución de problemas sociales, utilizando descubrimientos tecnológicos derivados de la investigación básica. Su enfoque se encuentra en el proceso que conecta la teoría con la creación de productos o soluciones prácticas (Lozada, 2014). Esto implica que se tendrán aplicaciones prácticas y directas en el campo de salud y en la detección de contaminación biológica.

Además, es de nivel aplicativo donde Bunge (1959) menciona que este nivel de nivel de investigación plantea resolver problemas o intervenir en el curso natural de ciertos problemas, por ello algunos investigadores la etiquetan como investigación acción. De esta manera, se puede enfocar la aplicación directa de los resultados en la práctica y evaluar de manera real el sistema de detección de contaminación.

En consonancia con estos enfoques, el diseño es del tipo experimental del subtipo pre-experimental. Tal como afirman Campbell y Stanley (1963) se produce una investigación pre-experimental cuando se realiza la medición de un mismo sujeto o grupo de sujetos antes y después de la implementación de la variable independiente. Con este tipo de investigación se puede definir la eficacia y el impacto de la intervención del sistema a implementar.

Figura 6

Diagrama de clasificación de la investigación



Nota. En la figura se representa en un diagrama que define las características de la investigación que se está realizando.

La **población** del presente estudio estuvo conformada por profesionales de la salud que ejercen sus funciones clínicas directas en instituciones médicas ubicadas en la ciudad de Trujillo, durante el año 2024. El estudio se realizó en tres centros de atención médica seleccionados por accesibilidad y disposición para participar. Las unidades participantes fueron seleccionadas intencionalmente en función del cumplimiento de criterios específicos relacionados con el objetivo del estudio.

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

Se tuvo los siguientes criterios de inclusión:

- Profesionales de la salud que laboren activamente en consultorios dentales, clínicas o centros médicos de Trujillo.
- Tener contacto físico directo con pacientes durante procedimientos clínicos.

- Aceptar participar de forma voluntaria, firmando un consentimiento informado.

Se tomaron en cuenta también los siguientes criterios de exclusión:

- Personal que no realiza atención directa a pacientes.
- Presencia de lesiones cutáneas, alergias conocidas a fluoresceína o condiciones médicas incompatibles con la exposición a luz UV.
- Rechazo al uso del sistema UV o a la participación en el estudio.

Se consideró exclusivamente al personal con contacto físico directo con pacientes durante procedimientos clínicos, tales como odontólogos, médicos generales, enfermeros y técnicos asistenciales. Esta delimitación respondió a la necesidad de poder evaluar la eficacia del sistema de detección de contaminación biológica en las manos, en situaciones reales de exposición durante la atención médica. Se excluyó al personal que no tuviera contacto directo con pacientes (como administrativos, recepcionistas o personal de seguridad), así como a aquellos que, por condiciones dermatológicas o razones personales, no pudieran someterse a los procedimientos del sistema.

Se empleó un material, lo cual implicó incluir a todos los profesionales de salud disponibles en los centros seleccionados que cumplieron con los criterios definidos. La muestra total estuvo conformada por 18 participantes, con la siguiente distribución por profesión:

- 6 odontólogos
- 5 enfermeros(as)
- 4 médicos generales
- 3 técnicos asistenciales

La elección de un muestreo censal se debió a que se trabajó con una población pequeña, accesible y con características clave para el estudio. Además, el tipo de diseño metodológico aplicado fue pre-experimental con un solo grupo, donde cada participante fue evaluado antes y después del lavado de manos, actuando como su propio control. Esto permitió analizar el efecto del sistema UV implementado sin necesidad de formar un grupo comparativo adicional.

Para la implementación del presente estudio se emplearon materiales, instrumentos y técnicas seleccionados cuidadosamente por sus propiedades técnicas, validez científica y factibilidad de uso en entornos clínicos reales. El agente revelador utilizado fue fluoresceína sódica al 2 %, preparada en agua destilada estéril para garantizar seguridad dérmica, estabilidad química y uniformidad en la aplicación. Esta formulación es ampliamente validada en protocolos clínicos por su pH fisiológico, baja toxicidad y capacidad de fluorescencia intensa bajo luz UV-A, asegurando condiciones de equidad al aplicarse el mismo volumen y concentración a todos los participantes.

La iluminación se realizó mediante una barra LED UV-A con longitud de onda de 365 nm, seleccionada por su longitud de onda adecuado, potencia estable, bajo consumo energético y conectividad USB. Esta longitud de onda ha sido documentada en la literatura científica como óptima para la excitación segura de fluoresceína. Su uso garantizó la validez técnica del proceso de detección de contaminación biológica, evitando riesgos dérmicos por exposición controlada y reemplazando tecnologías menos eficientes como los tubos de mercurio.

El entorno de medición se estandarizó mediante una caja forrada con cartulina negra mate, diseñada para bloquear completamente la luz ambiental y reducir reflejos indeseados. Esta estructura de bajo costo permitió crear condiciones homogéneas de

iluminación para todos los participantes, asegurando la confiabilidad y equidad del proceso de captura de datos. Las imágenes se capturaron con una cámara de celular Redmi K40, ubicada a una distancia constante de 30 cm y siguiendo marcas preestablecidas para mantener ángulo e iluminación idénticos en cada medición.

Para el procesamiento digital de las imágenes capturadas, se desarrolló un software propio en Python 3.11, integrando librerías estándar de análisis de visión artificial y manejo de datos. Se empleó OpenCV para la lectura de imágenes, conversión al espacio de color HSV, filtrado por rangos definidos de color y generación de máscaras binarias que aislaron las áreas fluorescentes. NumPy se utilizó para operaciones matriciales y conteo preciso de píxeles blancos como indicador cuantitativo de contaminación. Matplotlib permitió la visualización mediante histogramas de intensidad, mientras que Pandas facilitó la estructuración y exportación de los resultados en formato tabular (CSV) para cada participante y etapa del experimento. El programa se ejecutó en Jupyter Notebook, lo que permitió integrar el código, los gráficos y la interpretación de resultados en un flujo de trabajo interactivo y reproducible. Este análisis automatizado redujo el sesgo humano y permitió obtener datos objetivos y comparables entre diferentes condiciones de lavado.

El análisis estadístico de los resultados se realizó utilizando el software SPSS v26. Para evaluar la distribución de los datos se aplicaron las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. Ante la ausencia de normalidad en algunos casos, se seleccionó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar datos pareados antes y después del lavado. El nivel de significancia establecido fue $\alpha = 0.05$, considerando como estadísticamente significativos los resultados con $p < 0.001$.

Los criterios de calidad y confiabilidad del estudio incluyeron la estandarización rigurosa del ambiente de medición (control de luz, distancia y ángulo de la cámara), la aplicación uniforme del agente fluorescente con verificación de impregnación, la captura de múltiples tomas por participante para reducir errores por movimiento y el control directo en cada fase del protocolo. El procesamiento automatizado de imágenes permitió garantizar equidad en la evaluación, minimizando sesgos subjetivos y asegurando reproducibilidad.

El proceso de recolección de datos se diseñó con un enfoque riguroso para garantizar la validez, la confiabilidad y la reproducibilidad de los resultados obtenidos. Se estableció un protocolo estandarizado, compuesto por fases secuenciales planificadas con precisión, destinadas a documentar la presencia y la reducción de contaminación biológica en las manos del personal de salud, antes y después de aplicar técnicas de lavado de manos habitual y clínico. Este diseño buscó controlar todas las variables que pudieran afectar la medición, asegurando la calidad de la información recolectada.

El inicio del procedimiento consistió en la verificación de la correcta instalación y alineación de la caja negra forrada internamente con cartulina mate. Este material absorbente eliminó por completo la luz ambiental externa y redujo reflejos no deseados, generando un ambiente controlado y homogéneo para la captura de imágenes. En el interior se ubicó la barra LED UV-A (365 nm), seleccionada por su longitud de onda adecuada para la excitación de la fluoresceína y su seguridad para uso clínico. La barra se fijó en un soporte estable, a una distancia y ángulo predefinidos respecto al plano de las manos, con el objetivo de mantener una iluminación constante y reproducible entre sesiones.

Simultáneamente, se realizó la preparación del reactivo, verificando la fluoresceína sódica al 2 % para confirmar su concentración y propiedades físicas antes de la aplicación. Se distribuyeron dosis medidas individualmente para cada participante, evitando contaminación cruzada y garantizando la uniformidad en la aplicación.

Antes de la medición, se llevó a cabo una sesión informativa dirigida al personal participante, en la que se detallaron los objetivos del estudio, el procedimiento experimental, los cuidados requeridos y las consideraciones éticas. Se resolvieron dudas para asegurar la comprensión completa del protocolo, y se formalizó la participación voluntaria mediante la firma del consentimiento informado.

Con el consentimiento obtenido, se inició la primera toma de datos. Se procedió con la aplicación del reactivo, asegurando la distribución uniforme de la fluoresceína sobre palmas, dorsos y espacios interdigitales de las manos, evitando excesos o zonas sin cobertura. Tras la aplicación, se permitió el secado al aire para garantizar la adherencia sin escurrimientos ni alteraciones por humedad.

La siguiente fase consistió en la captura de la imagen inicial para verificar la impregnación del pigmento fluorescente. Bajo iluminación UV-A controlada, se tomaron al menos tres fotografías en formato PNG de alta resolución, con la cámara ubicada exactamente a 30 cm sobre marcas previamente establecidas para estandarizar el encuadre y el ángulo. Este control preciso de la distancia y el ángulo permitió mantener condiciones idénticas entre sesiones y participantes, evitando distorsiones ópticas o variaciones en la intensidad de la fluorescencia. Las imágenes obtenidas documentaron la distribución inicial del contaminante simulado en las manos, estableciendo la línea base para la posterior comparación.

Posteriormente, se indicó al participante la realización del lavado de manos clínico estandarizado, siguiendo un protocolo basado en recomendaciones para personal de salud. Este procedimiento incluyó enjabonado completo, fricción de palmas, dorsos, espacios interdigitales y uñas, enjuague final y secado con material limpio. Se cuidó la ejecución uniforme del procedimiento entre todos los participantes para mantener la consistencia experimental.

Concluido el lavado, se procedió a la captura de imágenes posteriores bajo las mismas condiciones de iluminación UV-A, distancia y ángulo que en la toma inicial. De nuevo se realizaron al menos tres fotografías por participante, asegurando la posibilidad de selección de la mejor toma en caso de movimiento involuntario o desenfoque. Esta fase permitió documentar la reducción en la fluorescencia remanente, evaluando de manera objetiva la efectividad del lavado clínico en la eliminación del contaminante simulado.

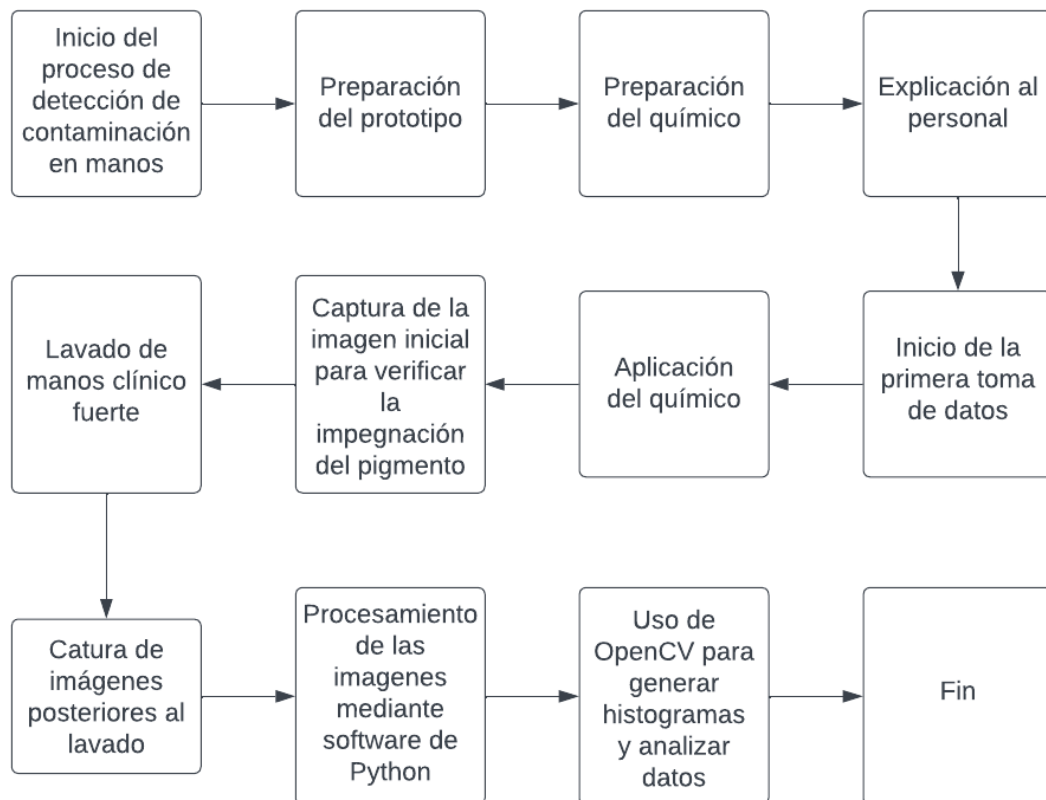
Todas las imágenes generadas se almacenaron de forma segura y organizada en carpetas etiquetadas por participante, fase experimental y fecha. Este sistema de archivo riguroso permitió garantizar la trazabilidad y la integridad de los datos, facilitando el análisis posterior. Asimismo, se incorporaron controles como la repetición de la aplicación del reactivo en caso de impregnación insuficiente o la repetición de la captura fotográfica si se detectaban sombras, reflejos o movimiento, asegurando la calidad técnica y la uniformidad de todas las observaciones.

Durante todo el procedimiento se mantuvo un control estricto de cada fase, incluyendo la correcta aplicación del reactivo, la alineación precisa de la cámara, la iluminación homogénea en el interior de la caja negra y la estandarización de las instrucciones proporcionadas. Esta planificación cuidadosa y ejecución disciplinada

permitieron comparar de forma estructurada y objetiva la reducción de contaminación biológica evidenciada por fluorescencia, generando resultados con relevancia práctica para la mejora de la higiene de manos en entornos de salud.

Figura 7

Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos



Nota. En la figura se representa en un diagrama de flujo del proceso que se seguirá para la detección de contaminación en las manos del personal.

El procedimiento de tratamiento y análisis de datos en este estudio se desarrolló con el objetivo de transformar las imágenes capturadas en indicadores numéricos objetivos y comparables sobre la presencia de contaminación biológica en las manos del personal de salud. El enfoque adoptado fue meticuloso y estructurado, diseñado para

maximizar la objetividad, reducir el sesgo humano y garantizar la reproducibilidad del análisis.

El proceso se inició con la organización y validación de las imágenes recolectadas. Todas las fotografías fueron revisadas manualmente para identificar tomas borrosas, con movimiento o iluminación inconsistente. Solo se seleccionaron aquellas que cumplieran con los criterios de calidad establecidos (nitidez, exposición correcta, visibilidad uniforme de fluorescencia). Estas imágenes se etiquetaron con el código del participante y se organizaron en carpetas estructuradas, garantizando la correcta trazabilidad de los datos y permitiendo su procesamiento en lote.

Posteriormente, se implementó un programa de análisis desarrollado en Python 3.11 y ejecutado en Jupyter Notebook, lo que permitió integrar de manera interactiva el código, las gráficas y la interpretación de resultados en un solo flujo de trabajo. Se utilizaron las librerías OpenCV, NumPy, Matplotlib y Pandas. El flujo de procesamiento comenzó con la lectura de las imágenes y su conversión al espacio de color HSV (Hue, Saturation, Value), seleccionado por su capacidad para separar de manera robusta el tono verdoso característico de la fluoresceína excitada bajo luz UV-A, incluso ante variaciones mínimas de iluminación residual.

Se estableció un rango de valores HSV definido experimentalmente para la fluoresceína y se aplicó un filtro de color para aislar únicamente las áreas contaminadas. El resultado fue la generación de máscaras binarias en las que las zonas fluorescentes aparecían en blanco y el resto del fondo en negro, eliminando ruido e interferencias de otros tonos. NumPy se empleó para las operaciones matriciales y el conteo preciso de píxeles blancos en cada máscara, obteniendo así un valor cuantitativo objetivo del área

fluorescente por participante y fase experimental (base, antes del lavado, después del lavado).

El programa calculó automáticamente el porcentaje de fluorescencia remanente antes y después del lavado clínico respecto a la imagen base (totalmente impregnada), normalizando los resultados para permitir comparaciones entre participantes con diferentes tamaños de manos o variaciones de iluminación residual. Los resultados se exportaron en archivos CSV estructurados mediante Pandas, facilitando su manejo y análisis estadístico posterior en software como SPSS. Además, Matplotlib se empleó para generar histogramas de intensidad, ofreciendo representaciones gráficas que complementaron el análisis numérico y ayudaron a identificar patrones o diferencias entre fases experimentales.

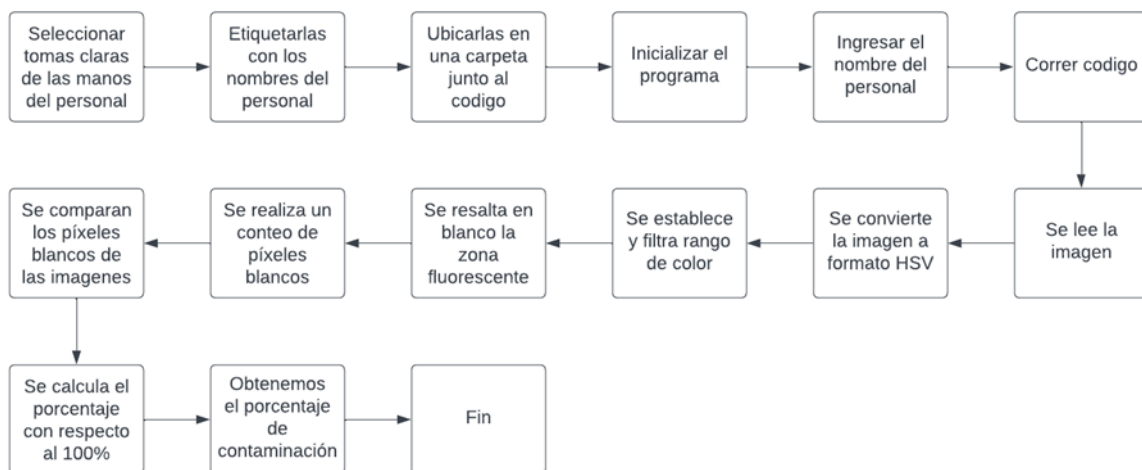
El procesamiento por lotes se diseñó para automatizar la lectura de carpetas, ejecutar el análisis para múltiples participantes de forma eficiente y almacenar todos los resultados de manera organizada. Este enfoque redujo significativamente el sesgo humano al estandarizar los pasos de filtrado, conteo y exportación de datos, garantizando la reproducibilidad del análisis en futuras aplicaciones o validaciones.

Durante el diseño del flujo se identificaron factores de error potenciales, como variaciones mínimas en la distancia o el ángulo de captura, diferencias en la absorción de fluoresceína según el tipo de piel, sombras residuales en la caja negra o movimiento involuntario de las manos. Para mitigar estos errores se implementaron controles estrictos en la captura de imágenes, como la marcación fija de la distancia y el ángulo de la cámara, la verificación de la correcta aplicación y secado del reactivo, el uso de un entorno cerrado para bloquear luz ambiental y la toma de múltiples imágenes por fase para seleccionar las de mejor calidad.

El flujo completo de este procedimiento, desde la selección inicial de las imágenes hasta la obtención de los porcentajes de contaminación residual y su exportación para análisis estadístico, se presenta en la figura a continuación, que ilustra cada fase del procesamiento de datos y su integración en la metodología general del estudio.

Figura 8

Diagrama de flujo del procedimiento de procesamiento de datos



Nota. En la figura se representa en un diagrama de flujo del procesamiento de datos mediante software.

Aspectos Éticos

La investigación se adhiere rigurosamente a los principios éticos establecidos por normativas, declaraciones y códigos aplicables a estudios de esta índole. Dada la implicación con seres vivos, en este caso, el personal de salud en Trujillo, se han implementado salvaguardas integrales para garantizar su bienestar y respetar sus derechos.

En primer lugar, se proporcionó información detallada y comprensible al personal de salud antes de su participación. Se obtuvo el consentimiento informado, destacando claramente los objetivos de la investigación, los procedimientos a seguir y los posibles riesgos, asegurando así la autonomía y toma de decisiones informada por parte de los participantes.

La recolección de datos se llevó a cabo con el más alto nivel de confidencialidad. Se han implementado protocolos de manejo y almacenamiento seguro de la información, garantizando la privacidad de los participantes y evitando cualquier divulgación no autorizada.

Asimismo, se han establecido medidas de control para mitigar cualquier efecto directo o colateral que pueda perjudicar a los implicados. Durante las fases de medición, se ha asegurado que la exposición a la luz UV sea mínima y que los productos químicos utilizados estén dentro de los límites seguros, minimizando así cualquier riesgo potencial.

En la elaboración de esta tesis, se han seguido rigurosamente los principios éticos que sustentan la integridad y la honestidad en la investigación académica. Se ha dado prioridad a la transparencia y la veracidad al presentar los datos y resultados, evitando cualquier forma de manipulación. Se ha mostrado un profundo respeto por la propiedad intelectual de otros autores al citar adecuadamente todas las fuentes consultadas y evitar cualquier forma de plagio. Se ha prestado especial atención a la confidencialidad y al consentimiento informado en el tratamiento de datos de sujetos humanos, en cumplimiento de las normativas éticas y legales correspondientes. La imparcialidad y la objetividad han sido principios fundamentales en el análisis y la interpretación de los datos, asegurando una presentación equitativa de diferentes puntos de vista. Además, se ha mantenido la integridad en la exposición de los resultados, sin exageraciones ni

ocultaciones selectivas. Se ha considerado la responsabilidad social y ambiental en todo momento, evaluando el impacto de la investigación y procurando mitigar posibles consecuencias negativas. Por último, se ha valorado la revisión por pares y la crítica constructiva como herramientas esenciales para mejorar la calidad y la validez del trabajo, estando siempre dispuesto a corregir errores y enriquecer el estudio con sugerencias pertinentes.

Respetando asimismo la sección h del artículo 37° del código de ética del Colegio de Ingenieros del Perú (2018) donde se menciona que se garantizará el pleno respeto al derecho de autoría de las producciones y obras de los colegas docentes y alumnos, comprometiéndose a no utilizar en beneficio propio o de terceros los estudios, investigaciones, tesis y demás trabajos realizados por ellos.

De manera similar, la Universidad Privada del Norte (UPN) menciona en su código de ética que cada publicación emanada de la universidad debe incluir como autores únicamente a aquellos individuos que hayan participado directamente en su concepción, elaboración y redacción, asegurando así el respeto hacia sus derechos de propiedad intelectual (2023).

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Análisis descriptivo

El análisis detallado de los resultados obtenidos evidencia variabilidad significativa en los niveles de contaminación biológica presentes en las manos del personal de salud participante. La Tabla 1 muestra los porcentajes de contaminación antes y después del lavado clínico simulado, revelando diferencias sustanciales entre sujetos. Este hallazgo permite identificar patrones de reducción variable, destacando tanto casos de eliminación eficaz como áreas críticas donde persisten niveles elevados de contaminación residual. Tales resultados subrayan la importancia de reforzar las prácticas de higiene de manos en entornos clínicos para garantizar estándares adecuados de bioseguridad.

Tabla 1

Tabla de Contaminación Antes y Después del Lavado por Sujeto de Estudio

| Sujeto de estudio | Porcentaje de contaminación antes del lavado | Porcentaje de contaminación después del lavado |
|-------------------|--|--|
| Albertin | 52.41% | 9.38% |
| Alexandra | 82.70% | 38.74% |
| Andrea | 89.38% | 16.56% |
| Antonia | 79.43% | 6.25% |
| Carina | 77.31% | 14.40% |
| Deisy | 87.49% | 3.42% |
| Elise | 87.77% | 8.11% |
| Ersi | 86.39% | 28.97% |

| | | |
|-----------|--------|--------|
| Geraldine | 64.01% | 20.01% |
| Graciela | 70.19% | 6.50% |
| Javier | 74.55% | 2.10% |
| Johani | 88.10% | 12.46% |
| Nelson | 86.82% | 10.49% |
| Nestor | 84.27% | 14.49% |
| Rosalinda | 65.27% | 46.85% |
| Rubi | 80.84% | 0.72% |
| Valeria | 77.23% | 0.83% |
| Veruschka | 91.96% | 3.83% |

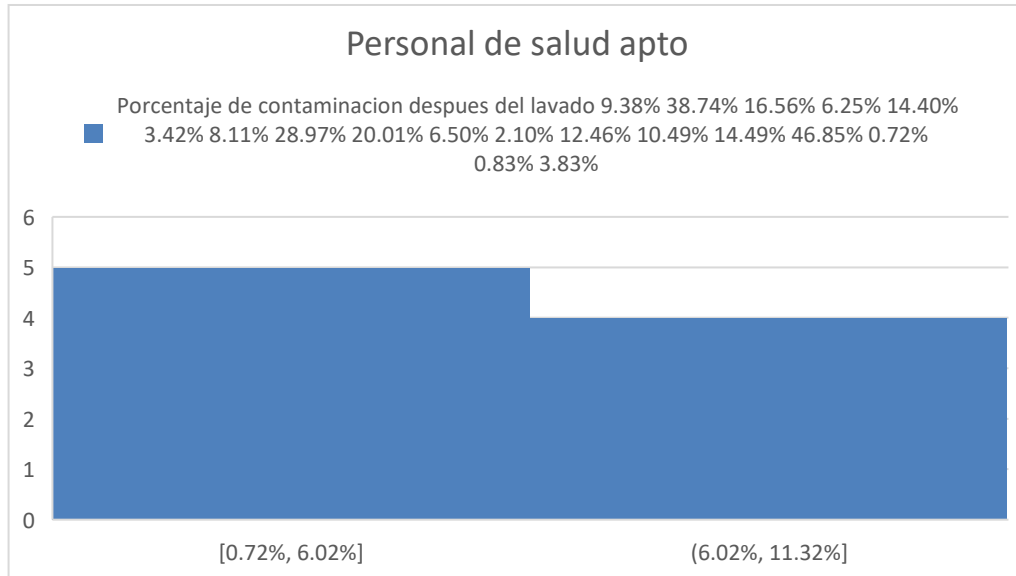
Nota. Los porcentajes de contaminación antes y después del lavado representan los niveles de contaminación biológica en las manos de cada sujeto de estudio. Los resultados reflejan la eficacia del procedimiento de lavado y su impacto en la reducción de la contaminación.

En el grupo examinado, se destaca que aproximadamente un 50 % del personal (alrededor de ocho individuos) logró mantener niveles de contaminación inferiores al 10 %, marcando un cumplimiento efectivo de los procedimientos de aplicación de químico y lavado simulado. Esta minoría presenta un estándar más elevado en términos de higiene, indicando la posibilidad de alcanzar niveles óptimos de desinfección con las prácticas actuales.

Sin embargo, en contraste con este grupo, se observó que la mayoría de los participantes exhibió niveles de contaminación considerables, llegando hasta el 46.85 % en algunos casos. Estas cifras reflejan una disparidad notable y sugieren que, en la realidad hospitalaria, la efectividad del lavado de manos puede ser subóptima.

Figura 9

Histograma de personal apto para intervenciones



Nota. Histograma que representa la distribución del personal apto para intervenciones, basado en los resultados obtenidos en las pruebas.

La metodología de recolección de datos, ejecutada con precisión, permitió organizar, procesar y comparar cada muestra con el 100 % del total, estableciendo así el porcentaje de contaminación específico para cada individuo. Esta rigurosidad metodológica refuerza la solidez y confiabilidad de los resultados, garantizando una interpretación informada y objetiva.

Asimismo, los resultados evidenciaron la influencia significativa del entorno hospitalario en las prácticas de higiene. La constatación de que factores como el ajetreo y la falta de tiempo pueden afectar negativamente la implementación efectiva de los protocolos de lavado de manos representa un hallazgo de relevancia práctica inmediata.

Resulta relevante observar que, bajo estas condiciones, solo un pequeño porcentaje del personal logró mantener niveles de contaminación por debajo del umbral aceptable del 10 %, considerado necesario para garantizar la seguridad en áreas críticas

como salas de operaciones y urgencias. Este hallazgo subraya la necesidad de reformular y reforzar las estrategias de higiene, enfocándose en zonas específicas de las manos y promoviendo prácticas más minuciosas.

El análisis digital de las imágenes capturadas se realizó mediante un programa desarrollado en Python 3.11 con librerías de visión artificial como OpenCV. El flujo de trabajo generó máscaras binarias en las que se contaron píxeles blancos, representando las áreas fluorescentes contaminadas antes y después del lavado clínico.

Tabla 2

Conteo de píxeles blancos antes y después del lavado clínico y reducción porcentual

| Participante | Píxeles blancos antes | Píxeles blancos después | Reducción (%) |
|---------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Albertin | 12,420 | 2,220 | 82.1% |
| Alexandra | 19,950 | 7,550 | 62.2% |
| Andrea | 21,480 | 3,970 | 81.5% |
| Antonia | 19,070 | 1,195 | 93.7% |
| Carina | 18,520 | 2,665 | 85.6% |
| Deisy | 20,990 | 800 | 96.2% |
| Elise | 21,100 | 1,945 | 90.8% |
| Ersi | 20,780 | 6,020 | 71.0% |
| Geraldine | 15,400 | 4,250 | 72.4% |

| | | | |
|-----------|--------|-------|-------|
| Graciela | 16,800 | 1,125 | 93.3% |
| Javier | 17,800 | 420 | 97.6% |
| Johani | 21,050 | 2,620 | 87.5% |
| Nelson | 20,710 | 2,170 | 89.5% |
| Nestor | 20,100 | 2,905 | 85.5% |
| Rosalinda | 15,560 | 7,280 | 53.2% |
| Rubi | 19,290 | 140 | 99.3% |
| Valeria | 18,480 | 155 | 99.2% |
| Veruschka | 22,020 | 845 | 96.1% |

Nota. El conteo de píxeles blancos corresponde a las áreas fluorescentes detectadas mediante el procesamiento con OpenCV. La reducción (%) indica la diferencia relativa entre el conteo antes y después del lavado clínico.

Como se observa en la Tabla 2, el conteo de píxeles blancos se redujo considerablemente después del lavado clínico en la mayoría de los participantes, indicando una reducción efectiva de la contaminación biológica simulada. Los resultados varían entre sujetos, mostrando casos con reducciones superiores al 90% y otros con reducciones más modestas, lo que evidencia diferencias en la técnica de lavado aplicada.

Tabla 3

Estadísticos descriptivos del conteo de píxeles blancos

| Fase | Media píxeles | Desviación estándar | Error estándar |
|--------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Antes del lavado | 19,200 | 2,500 | 589 |
| Después del lavado | 3,020 | 2,350 | 554 |

Nota. Estadísticos descriptivos del conteo de píxeles blancos generados con OpenCV, representando la variabilidad entre sujetos.

La Tabla 3 presenta los estadísticos descriptivos del conteo de píxeles blancos generados mediante OpenCV. La diferencia entre las medias antes y después del lavado clínico evidencia la efectividad de la técnica para reducir áreas contaminadas. La desviación estándar y el error estándar reflejan la variabilidad interparticipante, permitiendo evaluar la consistencia del procedimiento entre los distintos sujetos del estudio.

Por otro lado, se realizó también un análisis inferencial estadístico con la plataforma SPSS donde se obtuvieron los resultados de la prueba de normalidad y se aplicaron principios de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk; para posteriormente aplicar una prueba de Wilcoxon. Los resultados de las pruebas de normalidad sugieren que ha habido cambios en la distribución de los datos antes y después de la intervención del prototipo de luz ultravioleta. La disminución significativa en los valores de significancia después de la intervención indica una posible mejora en la adecuación de los datos a una distribución normal. Esto sugiere que la intervención puede haber influido en la normalidad de los datos, lo que podría reflejar cambios en las condiciones del estudio e incluso validar la efectividad de la intervención.

Figura 10

Resultados de prueba de normalidad

| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|---------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Antes | .147 | 18 | .200* | .897 | 18 | .052 |
| Despues | .194 | 18 | .073 | .843 | 18 | .006 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Captura del programa SPSS realizando la prueba de normalidad según principios de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

Esto nos sugiere aplicar una prueba de Wilcoxon donde se evaluó la variable antes y después de la aplicación del instrumento. De esta manera se evidencia la influencia del prototipo implementado para la detección de contaminación biológica. Un p-valor menor a 0.001, que fue el obtenido en la prueba mediante el software SPSS, sugiere que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias o medianas de las dos muestras relacionadas que se están comparando. Es decir, es muy improbable que las diferencias observadas entre las muestras se deban al azar.

Figura 11

Resultados de prueba de normalidad

➔ Pruebas NPar

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

| | | Rangos | | |
|-----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | N | Rango promedio | Suma de rangos |
| Despues - Antes | Rangos negativos | 18 ^a | 9.50 | 171.00 |
| | Rangos positivos | 0 ^b | .00 | .00 |
| | Empates | 0 ^c | | |
| | Total | 18 | | |

- a. Despues < Antes
- b. Despues > Antes
- c. Despues = Antes

Estadísticos de prueba^a

| | Despues - Antes |
|------------------------|---------------------|
| Z | -3.724 ^b |
| Sig. asin. (bilateral) | <.001 |

- a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
- b. Se basa en rangos positivos.

Nota. Captura del programa SPSS realizando una prueba de Wilcoxon.

Por último, se realizó una prueba de contrastación de hipótesis para cada una de nuestras variables, las cuales brindaron información importante para conocer la media de error estándar de cada una.

En el análisis realizado, la contrastación de la hipótesis nula reveló un valor p inferior a 0.001, lo que indica una significancia estadística excepcionalmente alta de los resultados obtenidos. Esta evidencia robusta nos permite rechazar con confianza la hipótesis nula, sugiriendo fuertemente que las observaciones detectadas no son producto

del azar. Este hallazgo subraya la existencia de un efecto real y significativo dentro de los datos analizados, proporcionando un respaldo sólido para los cambios ocurridos antes y después del lavado de manos.

Figura 12

Resultados de prueba de contrastación de hipótesis variable 1

Estadísticas para una muestra

| | N | Media | Desv. estándar | Media de error estándar |
|-------|----|---------|----------------|-------------------------|
| Antes | 18 | .792289 | .1054685 | .0248592 |

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 0

| | t | gl | Significación | | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
|-------|--------|----|----------------|-------------------|----------------------|--|----------|
| | | | P de un factor | P de dos factores | | Inferior | Superior |
| Antes | 31.871 | 17 | <.001 | <.001 | .7922889 | .739841 | .844737 |

Tamaños de efecto de una muestra

| | | Standardizer ^a | Estimación de puntos | Intervalo de confianza al 95% | |
|-------|----------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------|----------|
| | | | | Inferior | Superior |
| Antes | d de Cohen | .1054685 | 7.512 | 4.965 | 10.050 |
| | corrección de Hedges | .1104253 | 7.175 | 4.742 | 9.599 |

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.
 La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra.
 La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

Nota. Captura del programa SPSS realizando una prueba de contrastación de hipótesis a la variable 1.

Figura 13

Resultados de prueba de contrastación de hipótesis variable 2

Estadísticas para una muestra

| | N | Media | Dev. estándar | Media de error estándar |
|---------|----|---------|---------------|-------------------------|
| Despues | 18 | .135617 | .1294497 | .0305116 |

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 0

| | t | gl | Significación | | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
|---------|-------|----|----------------|-------------------|----------------------|--|----------|
| | | | P de un factor | P de dos factores | | Inferior | Superior |
| Despues | 4.445 | 17 | <.001 | <.001 | .1356167 | .071243 | .199991 |

Tamaños de efecto de una muestra

| | | Standardizer ^a | Estimación de puntos | Intervalo de confianza al 95% | |
|---------|----------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------|----------|
| | | | | Inferior | Superior |
| Despues | d de Cohen | .1294497 | 1.048 | .459 | 1.617 |
| | corrección de Hedges | .1355336 | 1.001 | .438 | 1.544 |

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto. La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra. La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

Nota. Captura del programa SPSS realizando una prueba de contrastación de hipótesis a la variable 2.

A la luz de los resultados mostrados anteriormente, se puede confirmar que se cumple la hipótesis HG_a : Un sistema con radiación ultravioleta tiene un efecto positivo en la detección de contaminación biológica llevado a cabo en personal del área de salud en el año 2024, debido a que estos hallazgos confirman la existencia de un efecto real y significativo del lavado clínico simulado en la reducción de contaminación biológica. Además, respaldan la utilidad del prototipo de luz UV como herramienta de monitoreo y retroalimentación en entornos clínicos, ofreciendo evidencia cuantitativa para fortalecer las prácticas de higiene de manos del personal de salud.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia de un sistema diseñado específicamente con radiación ultravioleta (UV) y fluoresceína sódica para la detección de contaminación biológica presente en manos humanas. Los resultados obtenidos demostraron una reducción significativa en los niveles de contaminación después de realizar la higiene de manos, pasando de un promedio inicial del 79.23 % a un valor posterior de 13.56 % ($p < 0.001$). Estos datos no solo validan la hipótesis inicial, sino que también permiten establecer una comparación crítica con los estudios previos revisados, tomando en cuenta tanto los resultados obtenidos como las diferencias metodológicas entre los trabajos.

En el estudio realizado por Dray et al. (2020), se evidenció que el uso de cabinas UV-A (365 nm) combinadas con alcohol fluorescente mejoró notablemente la técnica de higiene de manos y el cumplimiento de las recomendaciones emitidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en estudiantes de medicina, alcanzando una cobertura completa en el 60 % de los casos. No obstante, su sistema dependía de instalaciones fijas y carecía de análisis digital automatizado. En comparación, el sistema actual incorporó procesamiento de imágenes mediante Python y la biblioteca OpenCV, permitiendo la cuantificación automatizada del área contaminada sin requerir infraestructura compleja o fija. Este análisis digital, implementado con rangos HSV y máscaras binarias, redujo el sesgo humano y facilitó la generación de datos estructurados exportables para análisis estadístico.

Por su parte, Bolcato et al. (2023) emplearon el sistema HandInScan®, que combinaba fluorescencia y análisis automatizado para evaluar la cobertura de gel

hidroalcohólico, logrando una cobertura final del 94.5 %. Aunque estos resultados son comparables a la disminución de contaminación observada en este estudio, su dispositivo presentaba restricciones importantes, como la necesidad de operar bajo condiciones de iluminación controlada y un costo significativamente elevado. En contraste, el sistema propuesto en esta investigación se caracteriza por ser de bajo costo, ofrecer flexibilidad en su uso y garantizar la seguridad para su aplicación en una variedad de entornos clínicos reales.

Chiu et al. (2023) desarrollaron una aplicación móvil que utilizaba OpenCV para calcular áreas contaminadas, validando así el uso del procesamiento de imágenes en la evaluación de la higiene de manos. Sin embargo, su enfoque se limitaba exclusivamente a medir el área contaminada, sin considerar la intensidad de fluorescencia. El sistema actual, en cambio, incorporó la calibración de luz UV-A, el control de distancia y ángulo en la captura, así como el análisis de intensidad de fluorescencia mediante histogramas generados con Matplotlib, lo que mejoró la precisión y la sensibilidad del análisis realizado.

En los estudios de Raizman et al. (2019) y Kesavan y Sasikumar (2022), se emplearon técnicas de fluorescencia para detectar bacterias en heridas, alcanzando precisiones superiores al 90 %. Aunque estos trabajos demostraron la viabilidad de la fluorescencia y el análisis de imagen en la detección microbiana, los dispositivos utilizados estaban diseñados específicamente para heridas y resultaban ser complejos y costosos. En cambio, el sistema desarrollado en este trabajo adaptó los principios de estos estudios para evaluar la contaminación superficial en manos humanas mediante una metodología accesible y segura.

Suker et al. (2021) presentaron el sistema portátil CSI-D, que empleaba luz UVC (275 nm) y violeta (405 nm) para detectar residuos orgánicos en superficies inanimadas. Aunque lograron resultados positivos en la detección de contaminantes, su sistema incluía funciones de desinfección que no son apropiadas ni seguras para su aplicación sobre piel humana. En contraste, el presente estudio utilizó exclusivamente luz UV-A calibrada (365 nm), garantizando la seguridad dermatológica de los usuarios y aplicando técnicas de segmentación y cuantificación digital adaptadas a la evaluación de manos humanas.

Yılmaz y Yüksel (2024) demostraron que el uso de retroalimentación visual mediante fluorescencia mejoraba de manera significativa la técnica y duración del lavado de manos en niños. Esta investigación replicó y amplió dicho efecto en adultos profesionales de la salud, integrando además un análisis automatizado que redujo la subjetividad y proporcionó una evaluación objetiva y repetible.

Knol et al. (2024) implementaron un procedimiento que utilizaba fluorescencia UV para evaluar la higiene de operadores en entornos de cleanrooms, identificando áreas omitidas que no eran visibles mediante observación convencional. Coincidiendo con nuestros resultados, su estudio destacó la utilidad de la fluorescencia para detectar deficiencias ocultas. Sin embargo, su método era manual y limitado a entornos altamente controlados, mientras que el dispositivo desarrollado en esta investigación permitió realizar análisis automáticos en entornos clínicos reales.

El sistema propuesto se distingue de los antecedentes por varias características metodológicas clave: se utilizó una lámpara UV-A calibrada (365 nm) segura para su aplicación sobre piel humana; fluoresceína sódica como marcador económico y seguro; un entorno estandarizado con caja negra para control de iluminación; y un análisis digital automatizado en Python con librerías como OpenCV, NumPy, Matplotlib y Pandas para

procesamiento de imágenes, conteo de píxeles, generación de histogramas y exportación estructurada de resultados. Esto permitió obtener mediciones comparables entre participantes y reducir el sesgo humano, generando un procedimiento reproducible y adaptable.

La identificación de factores contribuyentes a los niveles de contaminación observados es esencial para interpretar adecuadamente los resultados y diseñar estrategias de mejora. Diversos estudios han señalado que la sobrecarga laboral, la falta de tiempo, el estrés y la presión asistencial son obstáculos comunes que afectan negativamente el cumplimiento de las prácticas de higiene de manos, incluso cuando se dispone de sistemas eficaces de detección y retroalimentación (González, Hidalgo, Prats-Uribe & Banqué, 2020). Estas condiciones pueden explicar por qué no todos los participantes lograron alcanzar el umbral ideal de contaminación, pese a la efectividad demostrada del dispositivo desarrollado.

Limitaciones del estudio

La metodología empleada presentó una serie de limitaciones que deben ser cuidadosamente consideradas al momento de interpretar los resultados obtenidos. En primer lugar, aunque se utilizó fluoresceína sódica como un marcador seguro, accesible y económico para la detección de contaminación biológica, este compuesto presenta restricciones importantes: no permite identificar microorganismos específicos ni cuantificar con precisión la carga patógena presente. Esta característica limita la capacidad del sistema para proporcionar una evaluación microbiológica detallada. Asimismo, la muestra de estudio se limitó exclusivamente a profesionales de salud de la ciudad de Trujillo, lo que restringe considerablemente la generalización de los resultados hacia otras regiones, entornos médicos o poblaciones con características demográficas y

profesionales diferentes. Además, la duración del estudio fue relativamente corta y podría no haber capturado variaciones estacionales ni cambios en las prácticas de higiene que pudieran surgir a lo largo del tiempo, lo que constituye una limitación temporal importante.

La metodología de medición de la contaminación biológica mediante el dispositivo de luz UV, si bien fue innovadora y mostró resultados prometedores, también presentó posibles limitaciones en cuanto a sensibilidad y especificidad. Algunos microorganismos pueden no haber sido detectados, y la fluorescencia observada podría no reflejar exclusivamente contaminación biológica con relevancia para la transmisión de enfermedades. La interpretación de los resultados dependió de la premisa de que la fluoresceína sódica es un indicador confiable de la presencia de microorganismos patógenos, aunque es importante reconocer que la relación entre la fluorescencia y la carga bacteriana específica puede variar en función de diferentes condiciones ambientales y técnicas.

Es importante destacar que, aunque el 50 % de los participantes logró reducir los niveles de contaminación a menos del 10 %, considerado un estándar aceptable en estudios como el de Bolcato et al. (2023), alcanzar dicho umbral puede resultar desafiante en situaciones clínicas reales. Factores como las variaciones en las técnicas de lavado de manos entre individuos, la prisa inherente a los entornos hospitalarios y la falta de entrenamiento continuo contribuyeron a estas dificultades. Esta observación concuerda con estudios anteriores, incluyendo los de Dray et al. (2020) y Bolcato et al. (2023), que también reportaron que una proporción significativa de los participantes no logró alcanzar completamente las metas ideales de reducción de contaminación, especialmente en contextos donde la formación y la retroalimentación constante no estaban garantizadas.

El análisis de imágenes con OpenCV dependió de la calidad de captura y de la calibración manual del rango HSV, lo que puede introducir variabilidad si no se controla rigurosamente la iluminación o la posición de las manos. Asimismo, aunque se contó con máscaras binarias para aislar la fluorescencia, el método no distingue contaminación biológica específica ni cuantifica la carga patógena real. Esto limita su capacidad para ofrecer una caracterización microbiológica detallada.

El código desarrollado en Python, aunque permitió un procesamiento automatizado y redujo el sesgo humano, presenta limitaciones técnicas: no incorpora algoritmos avanzados de aprendizaje automático ni redes neuronales que podrían mejorar la segmentación y la identificación de patrones complejos. Su implementación se basa en umbrales de color fijos, que pueden ser sensibles a variaciones mínimas en iluminación o pigmentación de la piel.

Finalmente, se debe subrayar una limitación importante en el contexto nacional: existe una notoria escasez de estudios enfocados en la detección de microorganismos mediante luz ultravioleta aplicada a manos humanas. Esta carencia limita la disponibilidad de datos comparativos y reduce el respaldo de evidencia local que podría fortalecer y enriquecer futuras investigaciones sobre esta temática específica.

Implicancias y estudios futuros

Las implicaciones de la investigación sugieren una necesidad apremiante de mejorar las prácticas de higiene en el personal de salud, particularmente en entornos hospitalarios. La implementación de programas de formación continua y la reevaluación de los protocolos existentes podrían ser estrategias clave para abordar los desafíos

identificados, contribuyendo así a la reducción de infecciones intrahospitalarias y mejorando la seguridad de los pacientes.

En cuanto a estudios futuros, se sugiere realizar investigaciones comparativas entre diversas tecnologías de detección de contaminación biológica para evaluar su eficacia relativa. Además, explorar el impacto de la formación específica sobre higiene en la práctica diaria del personal de salud y analizar cómo factores culturales y educativos influyen en la adopción de estas prácticas ofrecerían perspectivas valiosas. Se propone también la realización de estudios longitudinales para evaluar la efectividad a largo plazo de intervenciones específicas en la mejora de prácticas de higiene en entornos hospitalarios.

Recomendaciones

Sobre la base de las conclusiones, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar las prácticas de higiene en el personal de salud:

Implementar programas de formación y concienciación sobre la importancia de la higiene de manos, destacando los riesgos de la contaminación biológica.

Evaluar y abordar las barreras organizativas, como la falta de tiempo, que dificultan la implementación efectiva de prácticas de higiene.

Continuar la investigación para mejorar la sensibilidad y especificidad de las tecnologías de detección, considerando nuevos enfoques que aborden las limitaciones identificadas.

Realizar estudios similares en diferentes regiones y entornos médicos para obtener una comprensión más completa de las prácticas de higiene y los factores que influyen en ellas.

Fomentar la colaboración entre profesionales de la salud, administradores hospitalarios y expertos en tecnología para desarrollar estrategias integrales que mejoren la higiene en entornos hospitalarios.

En última instancia, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y acciones que puedan contribuir a la reducción de infecciones intrahospitalarias mediante la mejora de las prácticas de higiene en el personal de salud. La combinación de enfoques tecnológicos y humanos puede ser clave para abordar este desafío de manera efectiva y mejorar la seguridad de los pacientes y del personal de salud en Trujillo.

Conclusiones

Se concluye que, el sistema desarrollado, que combina radiación ultravioleta (UV-A) calibrada y fluoresceína sódica con análisis digital automatizado mediante OpenCV, demostró ser altamente eficaz en la detección y cuantificación de contaminación biológica en manos humanas. Los resultados obtenidos evidenciaron una reducción sustancial y estadísticamente significativa de los niveles de contaminación tras la higiene de manos, disminuyendo de un promedio inicial del 79.23 % a un 13.56 % posterior ($p < 0.001$). Específicamente, el 50 % de los participantes logró reducir la contaminación a niveles inferiores al 10 %, considerado un estándar aceptable, mientras que el otro 50 % presentó valores de contaminación que oscilaron entre 10 % y 46.85 %, evidenciando una mejora significativa con respecto a los niveles iniciales. Este hallazgo confirma plenamente la hipótesis planteada y valida el sistema propuesto como una herramienta tecnológica útil,

precisa y replicable para el monitoreo riguroso de la higiene de manos en entornos clínicos reales, donde las condiciones no siempre son controladas.

De manera específica, el estudio permitió demostrar que las lámparas de luz UV-A (365 nm) ofrecen ventajas importantes para la visualización de contaminación biológica en manos humanas. Estas ventajas incluyen la capacidad de proporcionar retroalimentación visual inmediata, lo que facilita una corrección oportuna de deficiencias en la técnica de higiene. La evidencia obtenida fue coherente con investigaciones anteriores, como las de Dray et al. (2020), quienes destacaron la eficacia de las cabinas UV-A para mejorar la técnica de higiene de manos y el cumplimiento de recomendaciones de la OMS, y Bolcato et al. (2023), que demostraron la efectividad de sistemas automatizados de fluorescencia para evaluar la cobertura de desinfectante. En el presente estudio, la aplicación de lámparas UV-A calibradas permitió identificar áreas contaminadas que los métodos tradicionales no lograban detectar, facilitando mejoras significativas en las prácticas de higiene clínica.

Asimismo, se estableció y validó el uso de una lámpara UV-A calibrada con una longitud de onda de 365 nm, reconocida ampliamente en la literatura científica como segura para su aplicación sobre piel humana. Esta selección metodológica se respaldó en estudios como los de Del Cura et al. (2021), quienes confirmaron que el uso de UV-A en dicho rango no causa efectos adversos dermatológicos en aplicaciones clínicas, y Yılmaz y Yüksel (2024), quienes aplicaron lámparas UV-A similares en población infantil sin reportar efectos negativos. Esta validación garantizó la seguridad y bienestar de los participantes durante todas las fases del estudio.

De igual manera, el prototipo fue diseñado con materiales accesibles, seguros y sostenibles, como una caja forrada en cartulina negra y componentes electrónicos de bajo

consumo energético. Además, se utilizó fluoresceína sódica como marcador, un compuesto ampliamente reconocido por su seguridad, biodegradabilidad y bajo impacto ambiental. Esta característica distingue al sistema desarrollado frente a dispositivos comerciales más costosos o fabricados con materiales menos sostenibles, cumpliendo con criterios de responsabilidad ambiental y viabilidad económica para su implementación en diversos entornos clínicos.

El sistema también evidenció una alta sensibilidad al detectar y cuantificar niveles de contaminación incluso después de procedimientos estándar de higiene de manos. La metodología incluyó la captura de imágenes antes y después del lavado, junto con el análisis digital automatizado implementado en Python 3.11. Se emplearon las librerías OpenCV para la lectura de imágenes, conversión a espacio de color HSV, filtrado por rangos definidos de color y generación de máscaras binarias para aislar las áreas fluorescentes; NumPy para el manejo eficiente de matrices y el conteo de píxeles blancos como indicador cuantitativo de contaminación; Matplotlib para la generación de histogramas de intensidad que facilitaron la interpretación gráfica de los resultados; y Pandas para la estructuración y exportación de los datos en formato CSV por participante y etapa. Este flujo de procesamiento permitió estandarizar el análisis, reducir el sesgo humano y obtener mediciones objetivas, comparables y reproducibles. Los resultados demostraron que el 50 % de los participantes logró reducir la contaminación a niveles inferiores al 10 %, umbral considerado aceptable según la literatura (Bolcato et al., 2023). Además, el sistema mostró una fiabilidad consistente al identificar contaminación en todas las pruebas realizadas, incluso bajo condiciones no controladas.

Por último, el grado de certeza del sistema se confirmó mediante la correlación entre las áreas contaminadas detectadas visualmente y las mediciones obtenidas a través

del procesamiento de imagen automatizado. La implementación de OpenCV minimizó la subjetividad y aseguró replicabilidad en las mediciones. Los resultados fueron congruentes con investigaciones previas que emplearon métodos automatizados, como el sistema HandInScan® (Bolcato et al., 2023) y el aplicativo móvil de Chiu et al. (2023), y además, el sistema propuesto superó algunas de sus limitaciones como el costo elevado y la necesidad de operar en condiciones de iluminación controlada.

REFERENCIAS

- Bolcato, V., Robustelli della Cuna, F. S., Fassina, G., Odone, A., Gervasio, L., Bosone, D., & Blandi, L. (2023). Preventing healthcare-associated infections: Hand disinfection monitoring using an automated system in an Italian neurological hospital. *Healthcare*, 11(23), 3018. <https://doi.org/10.3390/healthcare11233018>
- Bunge, M. (1999). *La ciencia. Su método y su filosofía*. https://users.dcc.uchile.cl/~cgutierrez/cursos/INV/bunge_ciencia.pdf
- Carranza, D. (2019). *Determinación de coliformes fecales en productos de repostería comercializados en los principales mercados de la ciudad Trujillo-Perú durante el periodo mayo - agosto 2019 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15734>
- Colegio de Ingenieros del Perú. (2018). Código de ética del Colegio de Ingenieros del Perú. Colegio de Ingenieros del Perú. https://www.cip.org.pe/publicaciones/reglamentosCNCD2018/codigo_de_etica_del_cip.pdf
- Comisión Nacional de Arbitraje Médico (CONAMED). (2017). *Frecuencia de infecciones asociadas a la atención sanitaria en México y el mundo: una revisión documental*. Boletín CONAMED, 22(2), 9-14. http://www.conamed.gob.mx/gobmx/boletin/pdf/boletin17/frecuencia_infecciones.pdf

- Chiu, Y.-C., Lin, Y.-T., Lin, C.-Y., & Lee, H.-C. (2023). Prediction of contaminated areas using ultraviolet fluorescence markers for medical simulation. *Bioengineering*, 10(3), 364. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030364>
- Del Cura, A., Martín, J., Vázquez, S., & Blas, M. (2021). *Sistemas de desinfección con luz ultravioleta C para la reducción de las infecciones nosocomiales*. Ministerio de Sanidad. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud. Ficha de Evaluación de Tecnologías Nuevas y Emergentes: IAC. IACS_TE_60_UV-C_Informe_DEF_NIPO.pdf.
- Dray S, Lehingue S, Valera S, Nougier P, Boussen MS, Daviet F, Bastian D, Pilarczik E, Jousset I, Le Floch S, Grech G, Leonetti G, Papazian L, Cassir N & Forel JM. (2020), *Using an ultraviolet cabinet improves compliance with the World Health Organization's hand hygiene recommendations by undergraduate medical students: a randomized controlled trial*. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13756-020-00808-4>
- Flores, O., Larico, Y. (2017). *Diseño de una cámara electrónica de esterilización UV para equipos de protección médica contra COVID 19*. <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/1105/1634>.
- Gao, Y., Wang, X., Zhang, X., & Liang, H. (2020). *Fluorescence imaging of bacteria in vivo: recent advances and future prospects*. *Environmental Pollution*, 267, 115480. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115480>
- González-Cruz, J., & Hernández-García, J. (2019). *Infecciones nosocomiales en el Hospital General Regional No 36 del Instituto Mexicano del Seguro Social en Puebla durante el periodo 2015 a 2017: un estudio descriptivo retrospectivo*

- observacional transversal [Tesis de licenciatura]*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/5679/7287>
- Hernández, M. E., & García, M. A. (2007). *Infecciones nosocomiales: un problema de salud pública*. *Enfermería IMSS*, 15(3), 173-178.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/enfermeriaimss/eim-2007/eim073e.pdf>
- La Guía 2000. (s.f.). Fluoresceína. <https://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/fluoresceina>
- López, E. A. (2012). *Metodología cuantitativa*. En *La gestión de la calidad total y su incidencia en la competitividad de las empresas industriales de la ciudad de Loja* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Loja]. p. 115.
https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/eal/metodologia_cuantitativa.html
- Lozada, J. (2014). *Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria*. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Martínez, J. A., & Soto, S. (2012). *Infecciones asociadas a la atención sanitaria: concepto, importancia y aspectos clínicos*. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 30(1), 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2011.09.018>
- METTLER TOLEDO. (s.f.). *Espectroscopia ultravioleta-visible: conceptos básicos*. METTLER TOLEDO.
https://www.mt.com/es/es/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/uv-vis-spectroscopy/uvvis-spectroscopy-explained.html

- Ministerio de Salud del Perú (MINSA). (2020). *Norma técnica de salud para la prevención y control de las infecciones asociadas a la atención de salud NTS N°163-MINSA/DGSP-V01* [Documento oficial].
https://www.dge.gob.pe/portalnuevo/wp-content/uploads/2021/04/NTS_N163_IAAS_MINSA-2020-CDC.pdf
- Nkinen, J., Ahonen, M., Iakovleva, E., et al. (2020). *Contamination detection by optical measurements in a real-life environment: A hospital case study. Journal of Biophotonics, 13(11), e201960069*. <https://doi.org/10.1002/jbio.201960069>
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (s.f.). Calidad del agua.
<https://www.iaea.org/es/temas/calidad-del-agua>
- Organización Panamericana de la Salud. (2021). *El medio ambiente, arma y escudo contra las bacterias multirresistentes*. <https://www.paho.org/es/noticias/4-3-2021-medio-ambiente-arma-escudo-bacterias-multirresistentes>
- Organización Panamericana de la Salud. (2021). *Higiene de manos salva vidas*.
<https://www.paho.org/es/noticias/17-11-2021-higiene-manos-salva-vidas>
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). *La amenaza de las bacterias resistentes en los hospitales: acciones para evitar su propagación y salvar vidas*.
<https://www.paho.org/es/historias/amenaza-bacterias-resistentes-hospitales-acciones-para-evitar-su-propagacion-salvar-vidas>
- Paredes-Sánchez, J., & Paredes-Sánchez, J. (2019). *Infecciones asociadas a la atención sanitaria en el servicio de emergencia del Hospital Regional Docente Las Mercedes Chiclayo - Perú [Tesis doctoral]*. Universidad César Vallejo.
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2371>

Rodríguez, L. (2020). *El clima organizacional y su relación con la calidad del servicio educativo del Instituto Nacional de Danza Raymond Mauge Thoniel de la ciudad de Guayaquil-Ecuador 2017* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17105/Rodriguez_rl.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Sáiz, M. (2018). *Metodología para la evaluación de la calidad de servicios*. Gestión de calidad. Universidad de Burgos. https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/4889/Tema_3_metodologia_para_la_evaluacion.pdf;jsessionid=D39E9CEB4DC81F94263558615F2C807F?sequence=7

Sánchez, J. P., Arias, M., Armenta, J., & Salas, D. (2012). *Luz ultravioleta germicida y control de microorganismos ambientales en hospitales*. Revista Costarricense de Salud Pública, 21(1), 19-22. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v21n1/art05v21n1.pdf>

StudySmarter. (s.f.). Espectroscopia. <https://www.studysmarter.es/resumenes/quimica/atomos-y-moleculas/espectroscopia/>

Sueker, M., Stromsodt, K., Gorji, H. T., Vasefi, F., Khan, N., Schmit, T., Varma, R., Mackinnon, N., Sokolov, S., Akhbardeh, A., & el al. (2021). *Handheld multispectral fluorescence imaging system to detect and disinfect surface contamination*. *Sensors*, 21(21), 7222. <https://doi.org/10.3390/s21217222>

Universidad de las Américas (UNADE). (s.f.). *¿Qué es bioseguridad?*

<https://unade.edu.mx/que-es-bioseguridad/>

Universidad Privada del Norte. (2023). Código de ética para la investigación científica en

UPN. <https://www.upn.edu.pe/sites/default/files/documentos/codigo-de-etica-para-la-investigacion-cientifica-en-upn.pdf>

Véliz, L. (2014). *Propuesta de desinfección del agua de consumo diario por medio de*

lámparas de radiación ultravioleta (UV) en la comuna Las Rosas perteneciente al cantón Pallatanga de la provincia de Chimborazo [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7f8ed805-ea40-4c6f-9d6c-e43008a8384a/content>

Yoon, A., Park, S. Y., Cha, Y., Gopala, L., & Lee, M. H. (2021). *Strategies of detecting*

bacteria using fluorescence-based dyes. Frontiers in Chemistry, 9, 743923.
<https://doi.org/10.3389/fchem.2021.743923>

Zarei, A., & Zarei, A. (2018). *The effect of hospital waste management on the prevalence of nosocomial infections in hospitals of Urmia University of Medical Sciences*

in 2016. Journal of Urmia Nursing and Midwifery Faculty, 16(5), 323-331.
<https://umsu.ac.ir/uploads/235.pdf>

Using an ultraviolet cabinet improves compliance with the World Health Organization's hand hygiene recommendations by undergraduate medical students: a randomized controlled trial

https://www.researchgate.net/publication/344086525_Using_an_ultraviolet_cabinet_improves_compliance_with_the_World_Health_Organization's_hand_hygiene_recommendations_by_undergraduate_medical_students_a_randomized_controlled_trial

Prediction of Contaminated Areas Using Ultraviolet Fluorescence Markers for Medical Simulation: A Mobile Phone Application Approach
https://www.researchgate.net/publication/370350660_Prediction_of_Contaminated_Areas_Using_Ultraviolet_Fluorescence_Markers_for_Medical_Simulation_A_Mobile_Phone_Application_Approach

Use of a bacterial fluorescence imaging device: wound measurement, bacterial detection and targeted debridement
<https://www.magonlinelibrary.com/doi/full/10.12968/jowc.2019.28.12.824>

Clinical significance of a novel imaging device to evaluate infection on wounds: Performance comparison with culture method and metagenome sequencing
<https://journals.cambridge.com.au/application/files/1116/9277/7012/kesavan.pdf>

The Effect of Using Fluorescent Concretization Intervention on Hand Hygiene Training in Primary School Students <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3720129>

Preventing Healthcare-Associated Infections: Hand Disinfection Monitoring Using an Automated System in an Italian Neurological Hospital
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10705975/#:~:text=This%20study%20aimed%20to%20evaluate,and>

Development and Implementation of an Ultraviolet-Dye-Based Qualification Procedure for Hand Washing and Disinfection to Improve Quality Assurance of Pharmacy Preparations and Compounding, Especially in Cleanrooms: A Pilot Study
<https://www.mdpi.com/2226->

[4787/12/3/73#:~:text=their%20hands%20with%20UV%20dye,may%20be%20conclude
d%20that%20the](#)

Handheld Multispectral Fluorescence Imaging System to Detect and Disinfect
Surface Contamination

<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/21/7222>

González, C., Hidalgo, C., Prats-Urbe, A., & Banqué, M. (2020). Factores que influyen en el cumplimiento de la higiene de manos en profesionales sanitarios: un estudio de mapeo de conceptos. *Journal of Healthcare Quality Research*, 35(1), 104–111.
<https://doi.org/10.1016/j.jhqr.2019.09.003>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia Interna

| Evaluación de un sistema con radiación ultravioleta en la detección de contaminación biológica en el personal del área de salud en Trujillo, 2024 | | | | |
|---|--|--|--------------------------------|---|
| PROBLEMA | OBJETIVO GENERAL | HIPOTESIS | VARIABLE 1 | METODOLOGIA |
| <p>¿Cómo se puede evaluar la eficacia de un sistema con radiación ultravioleta en la detección de contaminación biológica en personal del área de salud en el año 2024?</p> | <p>Evaluar la eficacia de un sistema con radiación ultravioleta en la detección de contaminación biológica en personal del área de salud en el año 2024.</p> | <p>Un sistema con radiación ultravioleta demuestra eficacia en la detección de contaminación biológica en personal del área de salud año 2024.</p> | <p>Contaminación biológica</p> | Diseño |
| | | | | $G \quad O_1 \quad X \quad O_2$ |
| | | | | <p>Donde:</p> <p>G: Muestra</p> <p>X: Sistema con luz ultravioleta</p> <p>O1: Medición pre-experimental de la contaminación biológica en el personal</p> <p>O2: Medición post-experimental de la contaminación biológica en el personal</p> |

| | | | | Población |
|--|--|--|---|--|
| | | | | <p>P = 18</p> <p>Personal que labora en el área de salud en Trujillo</p> |
| | | OBJETIVOS ESPECIFICOS | VARIABLE 2 | Muestra |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer las ventajas de usar lámparas de luz negra o lámparas de luz germicida • Establecer un rango seguro de longitud de onda de la luz UV para evitar daños en el personal • Asegurar el mínimo impacto ambiental implementando un prototipo con materiales seguros y no contaminantes • Determinar la sensibilidad del sistema y la | <p>Sistema con radiación ultravioleta</p> | <p>M = 18</p> <p>La muestra fue no probabilística censal y constó de 20 trabajadores entre doctores, enfermeras, técnicos y personal de limpieza quienes contaban con disponibilidad de tiempo para la realización de pruebas.</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | fiabilidad del mismo • Definir el grado de certeza del uso de un sistema de luz ultravioleta en la detección de contaminación | | |
|--|--|--|--|--|

Anexo 2. Matriz de Operacionalización de las Variables

| VARIABLE INDEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | |
|-------------------------------|---|--|--------------------|-----------------------|--|
| Sistema con luz ultravioleta | Un Sistema con luz ultravioleta utiliza | Los sistemas con luz ultravioleta se definen | | Lámparas de luz negra | |

| | | | | |
|---|---|------|---------------------------|---|
| <p>el concepto de espectroscopia UV-VIS que es una técnica de espectroscopia de absorción que involucra la absorción de luz ultravioleta y visible por parte de una molécula promoviendo el paso de un electrón</p> | <p>por la longitud de onda de la radiación que emiten y el tipo de lámpara que utilizan, los cuales influyen en su eficiencia y sus aplicaciones en diversos ámbitos. (Grundfos, s. f.)</p> | Tipo | Lámparas de luz germicida | <p>Instrumento: Prototipo de sistema con luz UV y software</p> <p>Método: visión artificial</p> |
| | <p>El rango de los rayos UVC se encuentra</p> | | | <p>Longitud de onda menor a 220 nm</p> |

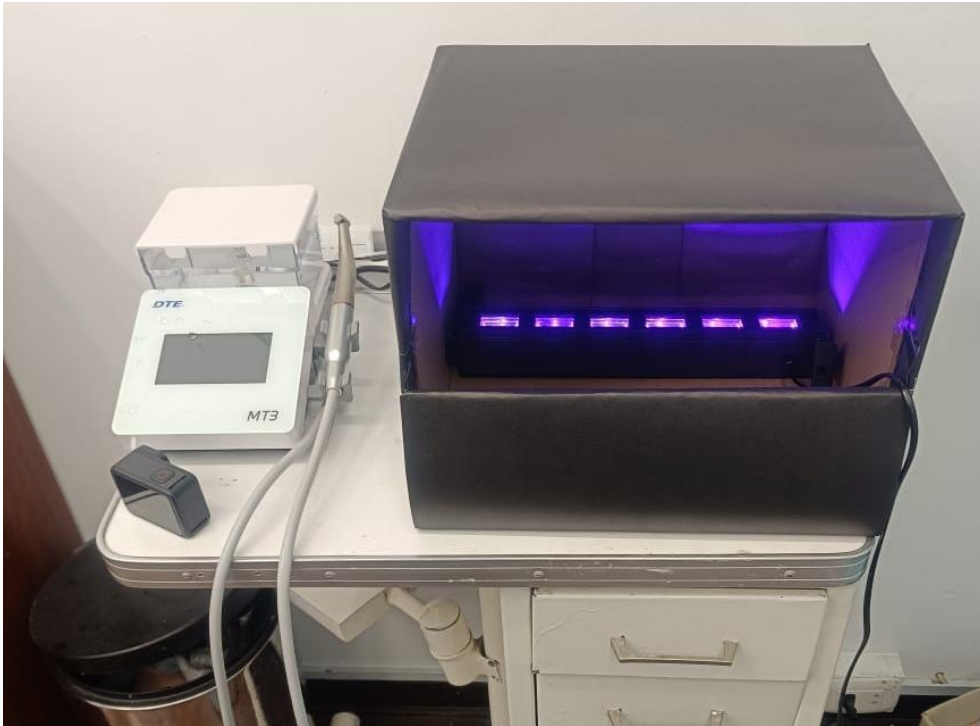
| | | | | | |
|--|--|--|------------------------------|--|--|
| | <p>desde un orbital molecular fundamental a un orbital excitado. (Arévalo, 2006)</p> | <p>entre 200 y 280 nm, estudios demuestran que se puede alcanzar una actividad germicida óptima sin rebasar los 220 nm, sin poner en riesgo la salud del personal, ya que esta longitud de onda puede penetrar microorganismos pequeños (<1um) pero no es capaz de ingresar al citoplasma de células de mamíferos ni a las del estrato córneo. (Briones et al., 2020)</p> | <p>Seguridad del sistema</p> | <p>Longitud de onda mayor a 250 nm</p> | |
|--|--|--|------------------------------|--|--|

| | | | | | |
|--|--|--|--------------------------|---|--|
| | | <p>En esta tecnología se utilizan lámparas de vapor de mercurio de presión media o baja. Sin embargo, estas lámparas contienen mercurio que se sabe que tiene efectos tóxicos en el cuerpo humano y el medio ambiente. Recientemente, el uso de diodos emisores de luz (LED) se ha vuelto prominente como fuente de luz ultravioleta. (Gokçen et al.,2020)</p> | <p>Impacto ambiental</p> | <p>Lámpara LED</p> <hr/> <p>Lámpara de mercurio</p> | |
|--|--|--|--------------------------|---|--|

| VARIABLE DEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | |
|--|--|---|--------------------|----------------------|---|
| Detección de contaminación biológica | Se ha descrito que los materiales de origen orgánico son especialmente sensibles a las radiaciones del espectro UV, ya que el contenido energético de los fotones es suficiente para provocar la alteración de la mayor parte de los materiales orgánicos debido a su alto contenido | Las dos dimensiones que se deben considerar para la detección de contaminación biológica son la sensibilidad y la especificidad de los métodos utilizados, que indican su capacidad para detectar correctamente a los contaminantes y evitar falsos positivos o negativos. (NTP 409, s. f.) | Sensibilidad | Verdaderos positivos | Instrumento: Fluoresceína Sódica Método: Fluorescencia biológica |
| | | | | Falsos negativos | |
| | | | | Verdaderos negativos | |
| | | | Especificidad | Falsos positivos | |

| | | | | | |
|--|-------------------------------------|--|--|--|--|
| | energético (Espinoza y Rivas, 2011) | | | | |
|--|-------------------------------------|--|--|--|--|

Anexo 3. Prototipo de sistema con radiación ultravioleta



Anexo 4. Ficha técnica de sistema con radiación ultravioleta y químico revelador

| Barra LED ultravioleta | |
|-------------------------------|--------------------|
| Color de la luz | Ultravioleta |
| Alimentación | 220-240VAC 50/60Hz |
| Potencia de salida | 3W |
| Consumo de energía | 20W |
| Dimensiones | 36x5x9.5cm |
| Peso | 0.5kg |
| Longitud de onda | 290nm |

| Fluoresceína | |
|---------------------|---|
| Composición | Fluoresceína sódica 2% |
| Indicaciones | Indicada para diagnóstico de ceratitas, úlceras de córnea, lesiones de conjuntiva y detección de cuerpos |
| Contraindicaciones | Está contraindicada en pacientes con antecedentes de hipersensibilidad a cualquiera de los componentes de la formulación. |

Anexo 5. Proceso de recolección de datos



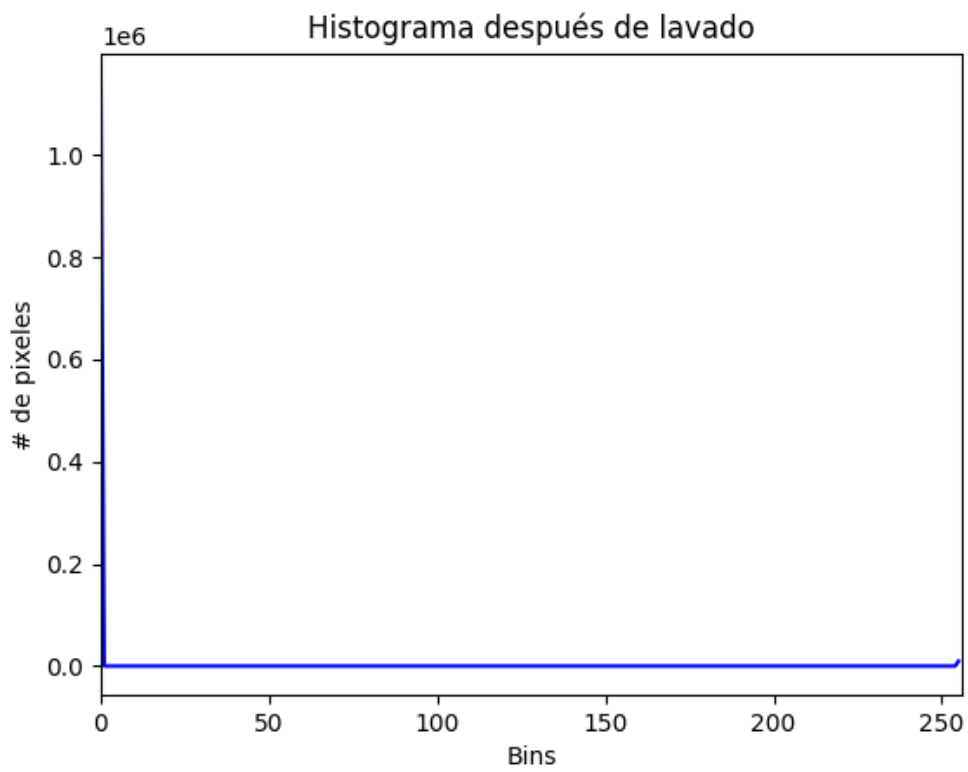
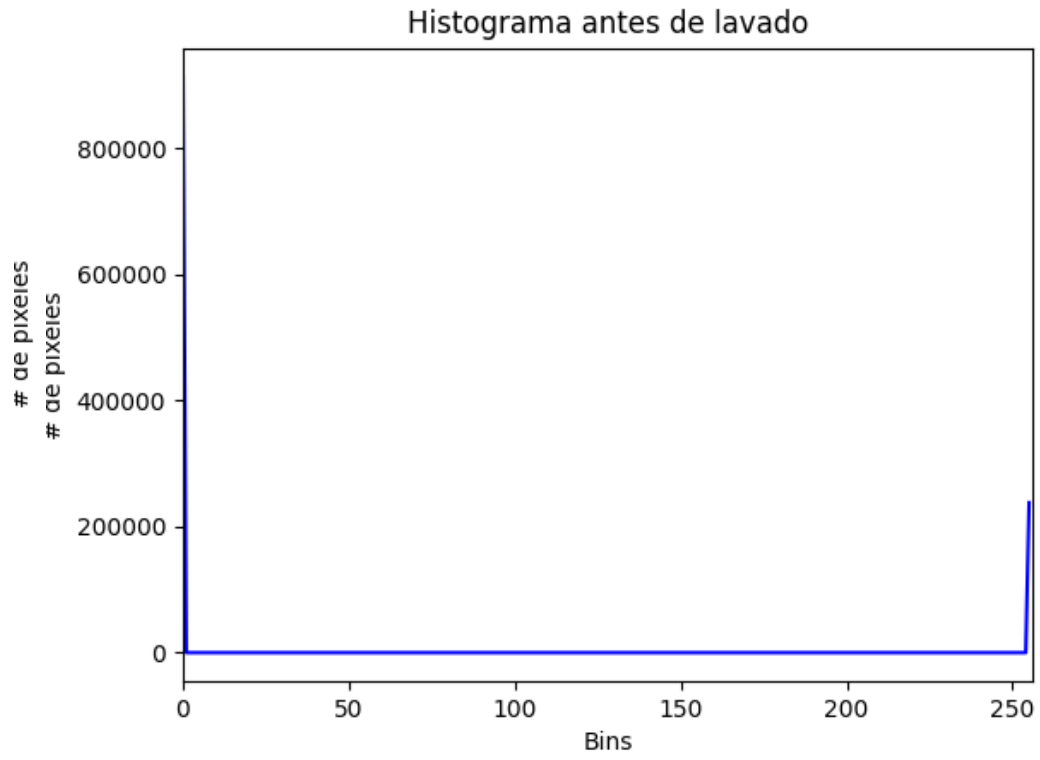






Anexo 6. Procesamiento de imágenes por software





Anexo 7. Código del software

```
import cv2

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

import pandas as pd

import os

def contar_pixeles_blanco_negros(mascara):

    blancos = np.sum(mascara == 255)

    negros = np.sum(mascara == 0)

    return blancos, negros

def calcular_porcentaje_pixeles_blanco_negros(mascara, mascara_base):

    blancos_base = contar_pixeles_blanco_negros(mascara_base)[0]

    if blancos_base == 0:

        return 0

    blancos_actuales = contar_pixeles_blanco_negros(mascara)[0]

    return (blancos_actuales / blancos_base) * 100

def mostrar_imagen(mascara, titulo):

    plt.figure(figsize=(5,5))

    plt.title(titulo)

    plt.imshow(mascara, cmap='gray')

    plt.axis('off')

    plt.show()

def mostrar_histograma(mascara, titulo):

    hist = cv2.calcHist([mascara], [0], None, [256], [0, 256])

    plt.figure(figsize=(6,4))

    plt.title(titulo)
```

```
plt.xlabel('Intensidad')
plt.ylabel('# de píxeles')
plt.xlim((0, 256))
plt.plot(hist)
plt.show()

def procesar_sujeto(path_sujeto, sujeto_nombre):
    print(f'\n Procesando sujeto: {sujeto_nombre} ")
    # Archivos esperados
    archivo_base = os.path.join(path_sujeto, 'base.jpg')
    archivo_antes = os.path.join(path_sujeto, 'antes.jpg')
    archivo_despues = os.path.join(path_sujeto, 'despues.jpg')
    # Cargar imágenes
    img_base = cv2.imread(archivo_base)
    img_antes = cv2.imread(archivo_antes)
    img_despues = cv2.imread(archivo_despues)
    if img_base is None or img_antes is None or img_despues is None:
        print(f" Error: Faltan imágenes para {sujeto_nombre}. Verifica nombres y rutas.")
        return None
    # Convertir a HSV
    hsv_base = cv2.cvtColor(img_base, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    hsv_antes = cv2.cvtColor(img_antes, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    hsv_despues = cv2.cvtColor(img_despues, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    # Definir umbrales HSV (CONSISTENTES para todos)
    verde_bajo = np.array([10, 50, 50], np.uint8)
    verde_alto = np.array([120, 255, 255], np.uint8)
    # Crear máscaras binarias
    mask_base = cv2.inRange(hsv_base, verde_bajo, verde_alto)
```

```
mask_antes = cv2.inRange(hsv_antes, verde_bajo, verde_alto)
mask_despues = cv2.inRange(hsv_despues, verde_bajo, verde_alto)

# Conteo de píxeles

blancos_base, _ = contar_pixeles_blanco_negros(mask_base)
blancos_antes, _ = contar_pixeles_blanco_negros(mask_antes)
blancos_despues, _ = contar_pixeles_blanco_negros(mask_despues)

# Calcular porcentajes

porcentaje_antes = calcular_porcentaje_pixeles_blanco(mask_antes, mask_base)
porcentaje_despues = calcular_porcentaje_pixeles_blanco(mask_despues,
mask_base)

# Mostrar resultados gráficos en notebook

mostrar_imagen(mask_base, f"{sujeto_nombre} - Máscara Base")
mostrar_imagen(mask_antes, f"{sujeto_nombre} - Máscara Antes de Lavado")
mostrar_imagen(mask_despues, f"{sujeto_nombre} - Máscara Después de Lavado")
mostrar_histograma(mask_antes, f"{sujeto_nombre} - Histograma Antes")
mostrar_histograma(mask_despues, f"{sujeto_nombre} - Histograma Después")

# Mostrar en consola

print(f" Porcentaje Antes de Lavado: {porcentaje_antes:.2f}%")
print(f" Porcentaje Después de Lavado: {porcentaje_despues:.2f}%")
print(f" Blancos Base: {blancos_base}, Blancos Antes: {blancos_antes}, Blancos
Después: {blancos_despues}")

# Devolver resultados en forma de diccionario

return {
    "Sujeto": sujeto_nombre,
    "Blancos_Base": blancos_base,
    "Blancos_Antes": blancos_antes,
    "Blancos_Después": blancos_despues,
```

```
"Porcentaje_Antes": porcentaje_antes,
"Porcentaje_Despues": porcentaje_despues
}

ruta_experimento = r'C:\Users\Sebas\Desktop\pruebas tesis\sujetos'

# Listar carpetas de sujetos
carpetas_sujetos = [d for d in os.listdir(ruta_experimento) if
os.path.isdir(os.path.join(ruta_experimento, d))]

resultados = []

# Procesar cada sujeto automáticamente
for sujeto in carpetas_sujetos:
    path_sujeto = os.path.join(ruta_experimento, sujeto)
    resultado = procesar_sujeto(path_sujeto, sujeto)
    if resultado:
        resultados.append(resultado)

# Crear DataFrame de resultados
df_resultados = pd.DataFrame(resultados)
display(df_resultados)

# Guardar en CSV para análisis estadístico
csv_salida = os.path.join(ruta_experimento, 'resultados_experimento.csv')
df_resultados.to_csv(csv_salida, index=False)
print(f"\n Resultados guardados en: {csv_salida}")
```