

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Desarrollo de sistema de detección de retinopatía diabética con procesamiento
de imágenes en pacientes de la Clínica de Ojos Luz y Vida del 2023

Línea de investigación: Sistemas Inteligentes

Autores:

Cachay Aguilar, Alex Humberto
Rázuri Buchelli, Angell Eduardo

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor
Secretario : Llanos León, Lenin Humberto
Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor:

de la Cruz Rodríguez, Oscar Miguel
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>

Trujillo–Perú
2024

Fecha de Sustentación: 2024/07/19

Desarrollo de sistema de detección de retinopatía diabética con procesamiento de imágenes en pacientes de la Clínica de Ojos Luz y Vida del 2023

por Alex Cachay Aguilar

Fecha de entrega: 27-jul-2024 05:07a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2423141055

Nombre del archivo: Informe_de_Tesis_Cachay_-_Razuri.docx (2.26M)

Total de palabras: 8428

Total de caracteres: 44910



Desarrollo de sistema de detección de retinopatía diabética con procesamiento de imágenes en pacientes de la Clínica de Ojos Luz y Vida del 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	0%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	1library.co Fuente de Internet	3%
2	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	2%
5	docplayer.es Fuente de Internet	2%



Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía Activo

Jurado de sustentación Oral

Aprobado por:



Ms. Ing. Azabache Fernández Filiberto Melchor

N° CIP 97916

Presidente



Ing. Llanos León Lenin Humberto

N° CIP 139213

Secretario



Ms. Ing. Alvarado Rodríguez Luis Enrique

N° CIP 149200

Vocal

Entregado el:



Rázuri Buchelli Angell Eduardo:

DNI 47240508



Cachay Aguilar Alex Humberto

DNI 48142659



Ms. Ing. De la Cruz Rodríguez Oscar Miguel

Asesor de Tesis

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Desarrollo de sistema de detección de retinopatía diabética con procesamiento
de imágenes en pacientes de la Clínica de Ojos Luz y Vida del 2023

Línea de investigación: Sistemas Inteligentes

Autores:

Cachay Aguilar, Alex Humberto
Rázuri Buchelli, Angell Eduardo

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor
Secretario : Llanos León, Lenin Humberto
Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor:

de la Cruz Rodríguez, Oscar Miguel
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>

Trujillo–Perú
2024

Fecha de Sustentación: 2024/07/19

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, Oscar Miguel De la Cruz Rodríguez, docente del Programa de Estudio de Pregrado de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada **“Desarrollo de sistema de detección de retinopatía diabética con procesamiento de imágenes en pacientes de la clínica de ojos Luz y Vida del 2023”**, de los autores Angell Eduardo Rázuri Buchelli y Alex Humberto Cachay Aguilar.

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 10%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 27 de julio del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“Desarrollo de sistema de detección de retinopatía diabética con procesamiento de imágenes en pacientes de la clínica de ojos Luz y Vida del 2023”** y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Trujillo 27 de julio del 2024.



DE LA CRUZ RODRÍGUEZ OSCAR MIGUEL

DNI: 40545044

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>



ANGELL EDUARDO RÁZURI BUCHELLI.

DNI 47240508



ALEX HUMBERTO CACHAY AGUILAR.

DNI 48142659

DEDICATORIAS

Este trabajo de tesis está dedicado, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino académico. A mis padres, pilares fundamentales en mi vida, cuyo amor incondicional, sacrificio y apoyo inquebrantable me han llevado hasta aquí. Les debo todo lo que soy y todo lo que he logrado. A mi amada esposa e hija, por su paciencia, comprensión y amor infinito, que han sido mi motor y mi inspiración en los momentos más difíciles.

Alex Cachay.

Este trabajo de tesis está dedicado, ante todo, a Dios, por ser mi guía y fuerza en cada paso de mi vida. A mis padres, quienes han sido pilares de mi vida; su amor y apoyo sin límites han sido la clave para alcanzar mis metas. A mis abuelos, por su amor incondicional y sus valiosas lecciones, que han dejado una huella imborrable en mi corazón. A mi hermano, por su apoyo y curiosidad en entender el mundo. Y a mi novia, el amor de mi vida, por su amor, paciencia y comprensión, que han sido mi inspiración y motor en cada momento desafiante, y por mostrarme siempre que hay otro camino, enseñándome a ver más allá de las dificultades.

Angell Rázuri.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Dios por guiarnos y darnos la fuerza para mejorar continuamente, superando los desafíos de la vida que nos han llevado hasta este punto.

A nuestros padres les agradecemos por enseñarnos valores a través de su ejemplo y por estar a nuestro lado en los momentos más difíciles que hemos enfrentado hasta ahora, apoyándonos en nuestras decisiones.

A la Universidad Privada Antenor Orrego, especialmente a la Facultad de Ingeniería y al Programa de Estudio de Ingeniería Electrónica, les estamos agradecidos por acogernos y formarnos profesionalmente con esmero, responsabilidad y proporcionándonos una educación de alta calidad.

A nuestros profesores del Programa de Estudio de Ingeniería Electrónica, agradecemos profundamente por las valiosas enseñanzas y experiencias que han contribuido significativamente a nuestra formación profesional, permitiéndonos avanzar en nuestra carrera.

Al Ing. Oscar Miguel de la Cruz Rodríguez, nuestro asesor de Tesis, le agradecemos su apoyo incondicional durante la realización y culminación de nuestro trabajo de investigación.

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación está enfocado en desarrollar un sistema basado en procesamiento digital de imágenes, con la finalidad de poder agilizar el diagnóstico de la retinopatía diabética en pacientes diabéticos que se atienden en la clínica Luz y Vida.

Dicho sistema se diseñó para poder detectar afecciones como vasos sanguíneos, microaneurismas y exudados de la retina de un paciente diabético. La finalidad del desarrollo del sistema es darle una herramienta que ayude a un diagnóstico más rápido al personal médico que atiende a un paciente con este tipo de afecciones.

El sistema se desarrolló haciendo pruebas con las imágenes tomadas por una cámara de fondo de ojos, durante una campaña de salud que realizó la clínica. Cabe mencionar que el tiempo que se demora el personal médico en dar un diagnóstico oscila entre 15 a 20 minutos, mientras que usando el sistema el personal médico pudo hacer el mismo diagnóstico en un tiempo que oscila entre 5 a 10 minutos, esto demostrando que el sistema es de bastante ayuda agilizando el diagnóstico.

El sistema que se desarrolló es un sistema bastante amigable e intuitivo para el uso del personal médico que lo usará como apoyo para el diagnóstico de retinopatía diabética.

Palabras clave: procesamiento digital, retinopatía diabética, imágenes, diagnóstico

ABSTRACT

The following research work is focused on developing a system based on digital image processing, with the aim of speeding up the diagnosis of diabetic retinopathy in diabetic patients treated at the Luz y Vida clinic.

This system was designed to detect conditions such as blood vessels, microaneurysms and exudates from the retina of a diabetic patient.

The purpose of the development of the system is to provide a tool that helps medical personnel who care for a patient with this type of conditions make a faster diagnosis.

The system was developed by testing images taken by a fundus camera during a health campaign carried out by the clinic. It is worth mentioning that the time it takes for the medical staff to give a diagnosis ranges between 15 to 20 minutes, while using the system the medical staff was able to make the same diagnosis in a time that ranges between 5 to 10 minutes, this demonstrating that the system is quite helpful in speeding up the diagnosis.

The system that was developed is a fairly friendly and intuitive system for the use of medical personnel who will use it as support for the diagnosis of diabetic retinopathy.

Keywords: digital processing, diabetic retinopathy, images, diagnosis

.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De acuerdo con los requisitos establecidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno del Programa de Estudio de Ingeniería Electrónica para optar el título de Ingeniero Electrónico, presentamos este Trabajo de Investigación titulado "**DESARROLLO DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE RETINOPATÍA DIABÉTICA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN PACIENTES DE LA CLÍNICA DE OJOS LUZ Y VIDA DEL 2023**".

Este estudio es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos durante nuestra formación profesional en la Universidad, los cuales fueron fundamentales para la realización de nuestro trabajo de investigación.

Estimados miembros del jurado, confiamos en que este trabajo cumpla con los estándares exigidos por nuestra institución y merezca su aprobación.

Trujillo, junio del 2024

Br. Angell Eduardo Rázuri Buchelli.

Br. Alex Humberto Cachay Aguilar.

Índice

1. INTRODUCCIÓN:	14
1.1. Problema de Investigación	14
1.2. Objetivos de la investigación	16
1.3. Justificación de la Investigación	17
2. MARCO DE REFERENCIA.....	19
2.1. Antecedentes de la Investigación	19
2.2. Marco Teórico	19
2.3. Hipótesis	28
2.4. Variables y definición operacional	29
3. METODOLOGIA EMPLEADA	32
3.1. Tipo y nivel de investigación	32
3.2. Población y muestra de estudio	32
3.3. Diseño de Investigación	32
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.5. Procesamiento y Análisis de Datos	54
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	58
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES.....	65
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN:

1.1. Problema de Investigación

a. Descripción de la Realidad Problemática

En el mundo, según los últimos datos emitidos por la OMS (08 de octubre de 2019), 3.9 millones de personas con ceguera moderada o grave, son a causa de la retinopatía diabética.

En el Perú se estima que uno por cada tres pacientes diabéticos, desarrollará ceguera, siendo esto aproximadamente el 5% de casos de ceguera a nivel nacional.

La retinopatía diabética, es una patología que ataca la retina degenerándola con el paso del tiempo, muchas veces de forma silenciosa, lo cual hace que los pacientes la detecten cuando ésta ya está muy avanzada, con secuelas irreversibles. En sus primeras fases, la enfermedad no muestra síntomas evidentes en el paciente, pero a medida que progresa, pueden aparecer visión borrosa, mareos, distorsiones visuales y puntos ciegos debido a cambios en la presión sanguínea, que provocan hemorragias, microaneurismas, exudados y crecimiento anormal de vasos sanguíneos en la retina. (A. Bhavsar, 2015).

Este tipo de enfermedades pueden ser diagnosticados a través de equipos modernos, que se basa en el análisis de imágenes, generalmente de fondo de ojo, a través de técnicas como la angiografía, o por medio de tomografías oculares, o con sistemas de cámaras retínicas, que permite una toma fotográfica en alta definición del fondo de ojo. Las imágenes tomadas mediante alguno de estos equipos mencionados, finalmente deben ser analizadas por un oftalmólogo especialista en retina. Este diagnóstico requiere de ciertos conocimientos, ya que se debe identificar ciertas características clínicas, las cuales poseen particularidades, que al médico le sirve para diagnosticar la enfermedad y su grado de severidad.

El uso de la cámara retinal, para la exploración del fondo de ojo, es muy utilizada, y en ella se requiere una gran cantidad de tomas de imágenes, que posteriormente tendrán que ser analizadas por el especialista, sin embargo, estas tomas son netamente informativas, ya que por sí sola, no es capaz de dar un diagnóstico. Es la habilidad médica, la que finalmente decidirá la presencia de la enfermedad y el grado en el que se encuentra dicha patología.

Este procedimiento de diagnóstico, al ser necesario el especialista para realizar los diagnósticos, y la revisión de las mejores tomas por parte de éste, requiere un tiempo importante para llegar a una conclusión médica, sumado a ello, el tiempo que demanda la toma de imágenes del ojo del paciente, se puede concluir que la rapidez con la que finalmente el paciente tiene su diagnóstico final, no es el adecuado. Así mismo, al ser un diagnóstico manual, y teniendo en cuenta que muchas veces las imágenes son muy finas, siempre existe la posibilidad de un margen de error en el diagnóstico.

El presente trabajo estará dirigido a la ayuda en el diagnóstico de retinopatía diabética en pacientes diabéticos, que se atienden en la Clínica de Ojos Luz y Vida de la ciudad de Trujillo-Perú

La clínica viene teniendo una alta demanda de consultas de pacientes con diabetes, quienes quieren hacerse un descarte de retinopatía diabética. Actualmente la clínica cuenta con tan solo un especialista en retina, así mismo, solo se cuenta con una cámara retinal, la cual solo realiza toma de imágenes, mas no genera un diagnóstico automático de tales, esto afecta tanto el médico especialista con una sobrecarga de trabajo en el análisis de las imágenes, así como al paciente que tiene que esperar un tiempo considerable para saber su diagnóstico, lo cual a su vez merma la productividad de la clínica por consiguiente se ve afectada su rentabilidad.

Por lo que, contar con soporte tecnológico en la detección automática del diagnóstico, ayudará en gran manera a mejorar la calidad del servicio, reducir el margen de error y tiempo en el diagnóstico, mejorará la productividad y por lo tanto la rentabilidad.

b. Identificación del problema

Dado el contexto problemático mencionado anteriormente, la tarea de revisar numerosas imágenes capturadas por la cámara de fondo de ojo en pacientes diabéticos con posible retinopatía diabética requiere una considerable cantidad de tiempo, lo que limita el número de consultas diarias. Esta situación plantea el problema que buscamos resolver en la Clínica de Ojos Luz y Vida en Trujillo.

c. Formulación del problema

¿Cómo ayudar en el procesamiento de las imágenes tomadas por una cámara retinal, para optimizar el tiempo del diagnóstico de retinopatía diabética, en la Clínica de Ojos Luz y Vida?

1.2. Objetivos de la investigación

a. Objetivo General

Implementar un sistema de análisis de imágenes asistido por computadora para ayudar en la agilización del diagnóstico de la retinopatía diabética, teniendo en cuenta las patologías que se pueden encontrar en la imagen de fondo de ojo, obtenida mediante una cámara retinal, en la clínica de ojos Luz y Vida -Trujillo.

b. Objetivos Específicos

- Implementar los algoritmos para detectar los posibles signos de retinopatía diabética, teniendo en cuenta las patologías que se

pueden encontrar en la imagen de fondo de ojo como las hemorragias, microaneurismas y exudados.

- Realizar pruebas de los algoritmos usando las imágenes de fondo de ojos de un grupo de pacientes para evaluar su eficacia en la detección de dichas patologías.
- Desarrollar la interface de usuario que usará el personal médico para apoyo en el diagnóstico de la retinopatía diabética.
- Evaluar la rapidez con la que el personal médico hace el diagnóstico de la retinopatía diabética usando el sistema.

1.3. Justificación de la Investigación

La investigación se pudo justificar académicamente porque se pudo estudiar una metodología para la implementación de un sistema de adquisición de imágenes que facilite el adecuado diagnóstico y de manera rápida la retinopatía diabética en pacientes con diabetes de la clínica oftalmológica Luz y vida de la ciudad de Trujillo. También se pudo justificar técnicamente porque se dio a conocer las diferentes tecnologías que ayuden al diseño de un sistema de adquisición de imágenes que facilite el adecuado diagnóstico y de manera rápida la retinopatía diabética en pacientes con diabetes de la clínica oftalmológica Luz y Vida de la ciudad de Trujillo.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes de la Investigación

- a. (Abarca Cusimayta, 2018), con la investigación titulada “Diseño de un modelo algorítmico basado en visión computacional para la detección y clasificación de retinopatía diabética en imágenes retinográficas digitales.” de la Pontificia Universidad Católica del Perú, planteando como objetivo general: “Implementar un modelo algorítmico de análisis y procesamiento de imágenes digitales de la retina proyectadas por medio de fundografía, para la detección y clasificación de retinopatía diabética según su severidad.”; para lograr esto se utilizaron un total de 600 imágenes (150 por categoría) y se aplicó cross-validation para evitar que el modelo caiga en el efecto del sobre-encaje (over fitting), alcanzando un porcentaje de precisión del modelo de 95.08%.
- b. (Arenas Cavalli, José), con la investigación titulada “Diseño y desarrollo de un sistema para la detección automática de retinopatía diabética en imágenes digitales” de la Universidad de Chile, en el que se propuso el objetivo general: “Desarrollar un prototipo de clasificador funcional que permita discriminar entre pacientes con y sin presencia de retinopatía diabética (RD), mediante un sistema digital automatizado de procesamiento de imágenes de fondo de ojo.”, concluyendo lo siguiente “En resumen, un método robusto y rápido para detectar la posición del RD en la retina Se implementaron las imágenes. El método mostró resultados comparables”.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Procesamiento de imágenes

Según Erwin Sosa López (diciembre 2020), El procesamiento digital de imágenes es un área, que está presente en todo espacio de estudio/laboral. Puede ser utilizado en medicina, geología, microscopía, astronomía, etc.

El procesamiento digital de imágenes, menciona sosa, es de mucha ayuda para obtener un mejor panorama de una imagen y observar

detalles que pueden ser importantes, permitiendo mejorar la imagen como puede ser en color, brillo, contraste, corrección de tonos, realce, eliminación de ruidos, entre otras extensas variedades de opciones. Algunas veces se trabaja de la mano con la inteligencia artificial (IA), esta puede ser una buena opción para lograr mejores resultados y tomar imágenes en tiempo real, para después su respectivo procesamiento.

2.2.2. Retinopatía Diabética

Para Kierstan Boyd, la retinopatía diabética es una enfermedad ocular causada por la diabetes. Los vasos sanguíneos dañados y los nuevos anormales pueden causar pérdida de la visión. (septiembre 2022).

En la figura 1 mostramos como sería la visión de un paciente diabético con retinopatía.



Figura 1: Visión de un paciente con retinopatía

2.2.3. Conocimiento básico de la retina

Una vez mirando la retina a través de un oftalmoscopio o una fotografía de fondo de ojo, el disco óptico debe ser identificado. En un ojo normal, es una estructura claramente definida con vital coloración (es decir, naranja amarillento) al nivel de la retina y puede tener un centro excavación. La vena central se encuentra lateral a la arteria; diámetro venoso es normalmente 1,5 veces mayor que el diámetro arterial. Cada estructura vascular debe ser de uniforme.

2.2.4 Identificación de tipo de patología generada por Retinopatía diabética

A través de esta gráfica podremos entender mejor el tipo de imágenes que debemos identificar con el propósito de determinar si los pacientes padecen o no de retinopatía diabética, así como la identificación de microaneurismas, exudados, burbujas en las venas o Neovascularización

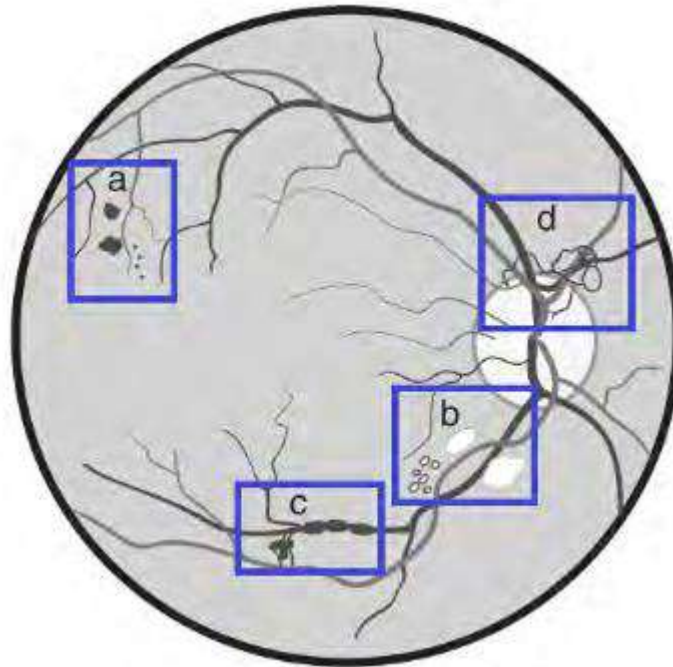


Figura 2: Cualidades del RD. Imagen adaptada de (McGee, 2012)

Zona A: Hemorragias, las manchas pequeñas son las microaneurismas

Zona B: Exudados, aquí se puede diferenciar los graves (pequeños y de forma regular, producido por derrame de lípidos ubicados en el ojo), y los leves, que son los de mayor tamaño, producto de inflamaciones de la capa nerviosa posterior a la retina.

Zona C: Burbujas en las venas, producidas por el aumento de la presión. Anormalidades microvasculares intra-retinales. Se delimita a las capas de la retina, en vez de la superficie interna de esta (McGee,2012).

Zona D: Neovascularización, que vienen a ser la formación de nuevas venas de forma irregular con muy poca resistencia en sus paredes, muy fáciles de romperse, que generan nuevas hemorragias.

2.2.5. Examen de fondo de ojo

Los cambios anormales se pueden registrar con una cámara réflex de lente única. Esto permite obtener documentación precisa de los hallazgos de seguimiento en pacientes diabéticos. La fotografía obtenida con una cámara de fondo de ojo con filtro en luz verde proporciona imágenes, de alto contraste, de los cambios anormales en el interior de las capas de la retina, como cambios en la capa de fibras del nervio óptico, sangrado, o microaneurismas. El estudio de complicaciones EURODIAB IDDM, realizado en Europa, mostró que, utilizando un protocolo de dos imágenes con 45° de campo para cada ojo, se puede lograr, un alto grado de efectividad en el diagnóstico de retinopatía diabética. Por lo tanto, el protocolo homónimo consiste en dos fotografías no estereoscópicas de cada ojo: una de campo macular/temporal y un disco/campo nasal.

Este resultado es comparable al conocido patrón oro; un protocolo de siete estereoscópicos, 30 tomas fotográficas para cada ojo. Por lo tanto, el tiempo y los costos de las pruebas podrían reducirse, obteniendo niveles similares de sensibilidad y especificidad.

La cámara no midriática sería entonces un método de detección adecuado. Tienen la ventaja teórica de evitar tener que dilatar las pupilas gracias a un sistema de enfoque infrarrojo. Sin embargo, este método ha sido criticado por la calidad de sus fotos. Los estudios muestran una reducción de fotografías no clasificables o no valiosas desde un 26% en caso de no midriático hasta un 5% con midriático.

El protocolo de cribado de retinopatía recomienda el uso de fármacos para su expansión, incluso si se utiliza una cámara no midriática. Además, debido a diversos trastornos en el sistema nervioso autónomo, presente en sujetos mayores y en pacientes diabéticos, hay un diámetro pupilar más pequeño de lo normal. En este caso, el

tamaño de la pupila es considerado como el factor más importante para lograr una retinografía de buena calidad.

Junto a la Retinopatía diabética, diferentes eventos pueden ocurrir que impiden una clasificación de una retinografía. Estos son cataratas, hemorragia vítrea, desprendimiento de retina, entre otros. Esto debe tenerse en cuenta, ya sea como entrada o como heurística, en el momento de asumir los métodos de fotografía de fondo de ojo.

Los cambios anormales se pueden registrar con una cámara réflex de lente única. Esto permite obtener documentación precisa de los hallazgos de seguimiento en pacientes diabéticos. La fotografía obtenida con una cámara de fondo de ojo con filtro en luz verde proporciona imágenes, de alto contraste, de los cambios anormales en el interior de las capas de la retina, como cambios en la capa de fibras del nervio óptico, sangrado, o microaneurismas. El estudio de complicaciones EURODIAB IDDM, realizado en Europa, mostró que, utilizando un protocolo de dos imágenes con 45° de campo para cada ojo, se puede lograr, un alto grado de efectividad en el diagnóstico de retinopatía diabética. Por lo tanto, el protocolo homónimo consiste en dos fotografías no estereoscópicas de cada ojo: una de campo macular/temporal y un disco/campo nasal.

Este resultado es comparable al conocido patrón oro; un protocolo de siete estereoscópicos, 30 tomas fotográficas para cada ojo. Por lo tanto, el tiempo y los costos de las pruebas podrían reducirse, obteniendo niveles similares de sensibilidad y especificidad.

La cámara no midriática sería entonces un método de detección adecuado. Tienen la ventaja teórica de evitar tener que dilatar las pupilas gracias a un sistema de enfoque infrarrojo. Sin embargo, este método ha sido criticado por la calidad de sus fotos. Los estudios muestran una reducción de fotografías no clasificables o no valiosas desde un 26% en caso de no midriático hasta un 5% con midriático.

El protocolo de cribado de retinopatía recomienda el uso de fármacos para su expansión, incluso si se utiliza una cámara no midriática. Además, debido a diversos trastornos en el sistema nervioso

autónomo, presente en sujetos mayores y en pacientes diabéticos, hay un diámetro pupilar más pequeño de lo normal. En este caso, el tamaño de la pupila es considerado como el factor más importante para lograr una retinografía de buena calidad.

Junto a la Retinopatía diabética, diferentes eventos pueden ocurrir que impiden una clasificación de una retinografía. Estos son cataratas, hemorragia vítrea, desprendimiento de retina, entre otros. Esto debe tenerse en cuenta, ya sea como entrada o como heurística, en el momento de asumir los métodos de fotografía de fondo de ojo.

2.2.6. Visión computacional

“Visión es un proceso que produce a partir de las imágenes del mundo exterior una descripción que es útil para el observador y que no tiene información irrelevante”. (Marr,1982)

Por lo que, su tarea principal es localizar y reconocer objetos en el mundo exterior, mediante el procesamiento de las imágenes. Entonces, la visión computacional es el estudio de estos procesos, para, poder comprenderlos, y así construir máquinas con capacidades similares.

2.2.7 Segmentación de una imagen.

La segmentación de una imagen, es el proceso por el cual, la imagen se divide en partes o regiones.

El objetivo de la segmentación es reconocer clases que en el futuro sirven para el reconocimiento de objetos que se encuentran en la imagen.

A. Segmentación por umbral.

Segmenta una imagen según el nivel de intensidad de los píxeles, produciendo una imagen binaria, donde los píxeles de interés se marcan con uno y el fondo o áreas no relevantes para el análisis se marcan con cero.

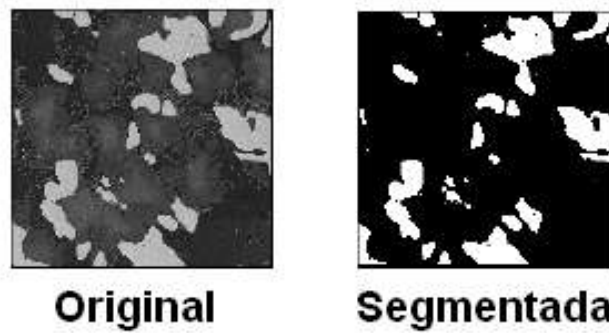


Figura 3: Ejemplo de segmentación de imágenes

B. Segmentación basada en la conectividad.

Se considera vecino a un píxel cuyo valor influye en los valores de los píxeles adyacentes durante determinados procesos de análisis de imágenes. El proceso de agrupación de píxeles introduce el término conectividad.

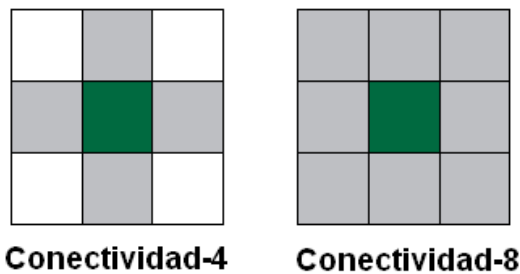


Figura 4: Matrices de conectividad

Con conectividad-4, dos píxeles se consideran parte de la misma entidad si son adyacentes vertical u horizontalmente. En contraste, con conectividad-8, dos píxeles se consideran parte de la misma entidad si están adyacentes vertical, horizontal o diagonalmente.

C. Segmentación Morfológica.

En caso los objetos se traslapan o tengan tonalidades que impide distinguirlos del fondo, se aplica la segmentación morfológica.



Figura 5: Antes de la segmentación morfológica

Erosión binaria.

Es una disminución del área del objeto sobre el cual se ha aplicado, así como la desaparición de todos los elementos más pequeños que el elemento estructurante.

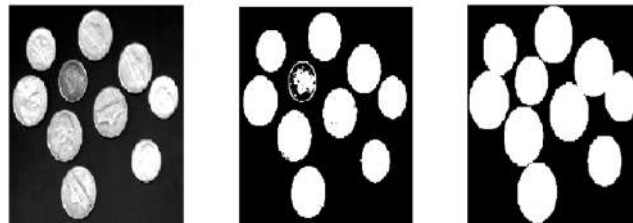


a) Imagen original, b) imagen umbralizada, c) imagen erosionada con elemento estructurante

Figura 6: Erosión con elemento estructurante.

Dilatación binaria.

La dilatación se interpreta como el valor máximo del entorno de vecindad definido por el elemento estructurante.

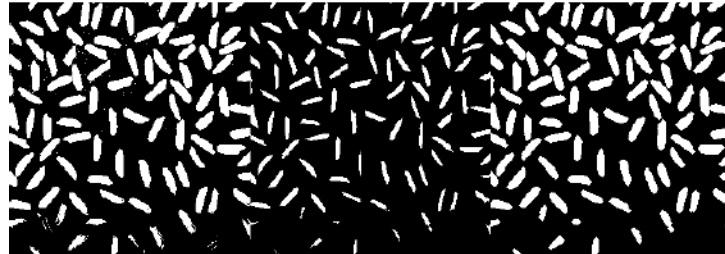


a) Imagen original, b) imagen binarizada, c) imagen dilatada con elemento estructurante.

Figura 7: Dilatación con elemento estructurante.

Apertura Binaria

Elimina todos los objetos que no están completamente contenidos en el elemento estructurante, pero además no disminuye el tamaño a los objetos que superen la erosión.

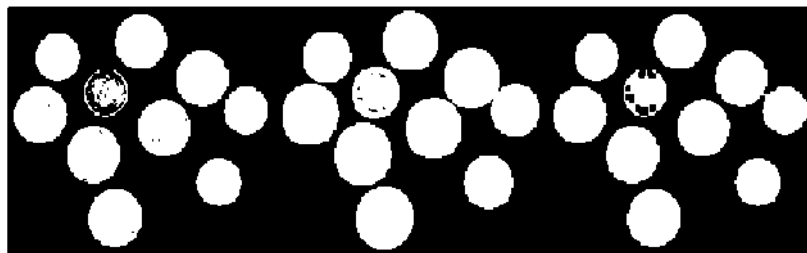


- a) Imagen segmentada b) erosión con elemento estructurante
c) Apertura con elemento estructurante

Figura 8: Apertura con elemento estructurante.

Cierre Binario

La operación combinada de dilatación y erosión es llamada cierre (closing),



- a) Imagen segmentada, b) dilatación c) Cierre

Figura 9: Cierre con elemento estructurante

2.2.8 Segmentación de una imagen biomédica.

Una herramienta valiosa para el diagnóstico de diferentes enfermedades, es la segmentación de una imagen biomédica, ya que le permite a un especialista definir un área de interés y tomar medidas en esta para desarrollar tratamientos estandarizados.

2.2.9 Matlab

MATLAB es una plataforma de programación y cálculo numérico utilizada para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos, y en nuestro caso, realizar el análisis y procesamiento de imágenes de manera digital.

2.3. Hipótesis

a. General

A través de un sistema basado en procesamiento de imágenes de fondo de ojo, se puede minimizar el tiempo de diagnóstico del estado de la retinopatía diabética, evaluando únicamente tres tipos de patologías: presencia de microaneurismas, así como de exudados y de observar el estado de los vasos sanguíneos.

2.4. Variables y definición operacional

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	OPERACIONALIZACIÓN	
			INDICADORES	TIPO DE VARIABLE
Microaneurisma Retinal	Micro hemorragias retinales ocasionadas por retinopatía diabética	Detección de microaneurisma retinal por PDI	<ul style="list-style-type: none"> - Área de microaneurismas - Apariencia de microaneurismas. - Número de microaneurismas. 	Independiente
Exudados	Depósitos de lipoproteínas fagocitadas ubicadas en las capas externas de la retina.	Detección de exudados por PDI	<ul style="list-style-type: none"> - Área de exudados - Apariencia de exudados. - Número de exudados. 	Independiente
Neovascularización	que vienen a ser la formación de nuevas venas de forma irregular con muy poca resistencia en sus paredes, muy fáciles de romperse, que generan nuevas hemorragias.	Detección de Neovascularización por PDI	<ul style="list-style-type: none"> - Área de vasos sanguíneos - Apariencia de vasos sanguíneos. - Número de vasos sanguíneos. 	Independiente

<p>Diagnóstico de Retinopatía Diabética</p>	<p>El diagnóstico de la retinopatía diabética se realiza al detectar las alteraciones retinianas características en un examen de fondo de ojo.</p>	<p>Tiempo que se toma para el diagnóstico de la retinopatía diabética usando el sistema.</p>	<p>-Dependerá del número, apariencia y área de las variables independientes (microaneurismas, Exudados y estado de vasos sanguíneos) que encuentre el sistema y del tiempo que se toma el personal médico para evaluar las imágenes resultantes e acuerdo a ellas se podrá determinar el estado de retinopatía diabética (normal o leve, media y avanzada)</p>	<p>Dependiente</p>
---	--	--	--	--------------------

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Es de tipo aplicado pues en base a conocimientos y técnicas de procesamiento de imágenes existentes se va a desarrollar un sistema que ayude a reducir el tiempo de diagnóstico de una retinopatía diabética en un entorno clínico real.

Es de nivel explicativo experimental pues ingresando las imágenes retinales al software se evaluará en cuánto disminuye el tiempo de diagnóstico del personal médico.

3.2. Población y muestra de estudio

a. Población

Imágenes de retinas de pacientes con diabetes de la ciudad de Trujillo, quienes podrían formar una retinopatía diabética.

b. Muestra

Imágenes de retinas de pacientes con diabetes de la clínica Luz y Vida de la ciudad de Trujillo, quienes podrían formar una retinopatía diabética.

3.3. Diseño de Investigación

El diseño se enfoca en ayudar en el diagnóstico de la retinopatía diabética mejorando la velocidad de la detección de afecciones en imágenes médicas como microaneurismas, exudados y estado vasos sanguíneos, y por ende en la agilización del diagnóstico.

$$O1 \text{-----} \rightarrow X \text{-----} \rightarrow O2$$

En donde:

O1: Tiempo que demora diagnóstico sin usar el sistema

X: Sistema de procesamiento de imágenes para la detección de retinopatía diabética

O2: Tiempo que demora diagnóstico sin usar el sistema.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Adquisición de Imágenes

La adquisición de las imágenes que serán procesadas por el sistema a desarrollar se adquirió a través de la cámara retinal de fondo de ojo usada en la campaña médica, la cual tiene internamente un arreglo de lentes y espejos ópticos.



Figura 10: cámara automática de fondo de ojo AFC-330.

El AFC-330 tiene una cámara CCD integrada de 12 megapíxeles que proporciona imágenes de fondo de ojo de alta calidad y la microcomputadora que tiene permite una fácil gestión de datos, incluida la impresión y exportación automática.

Las imágenes que se usaron para probar el sistema fueron las obtenidas durante una campaña de salud realizada por la clínica para detección de retinopatía diabética en pacientes con diabetes.

A continuación, en la tabla 1 se muestra el diagnóstico de algunos de los pacientes, realizado por el personal médico, después de haber obtenido las imágenes de las retinas de los pacientes con la cámara retinal.

Tabla 1. Diagnóstico de pacientes atendidos

Paciente	Edad	Sexo	Tiempo con Diabetes	Diagnóstico
Paciente 01	70	M	18 meses	Normal
Paciente 02	63	M	30 años	Avanzado
Paciente 03	54	F	6 años	Normal
Paciente 04	69	F	6 años	Medio
Paciente 05	61	M	6 años	Medio
Paciente 06	70	F	3 años	Avanzado
Paciente 07	58	M	8 años	Medio
Paciente 08	37	M	14 años	Normal
Paciente 09	75	F	10 años	Medio
Paciente 10	67	F	18 años	Avanzado
Paciente 11	60	M	3 años	Avanzado
Paciente 12	79	F	7 años	Normal
Paciente 13	51	F	7 años	Medio
Paciente 14	59	M	6 años	Medio
Paciente 15	66	F	10 años	Avanzado

Los resultados de procesar las imágenes de los pacientes con el sistema de detección de retinopatía diabética serán comparados con el diagnóstico realizado por el personal médico con el fin de evaluar la confiabilidad del sistema automático.

3.4.2. Diagrama de Flujo usado para el diseño del sistema de detección de retinopatía diabética

Para la detección de la retinopatía diabética se diseñará el sistema de tal manera que sea capaz de identificar 3 tipos de afecciones las cuales son: estado de los vasos sanguíneos, presencia de exudados y presencia de microaneurismas. En la figura 11 se muestra el diagrama de bloques que servirá para la implementación de sistema.

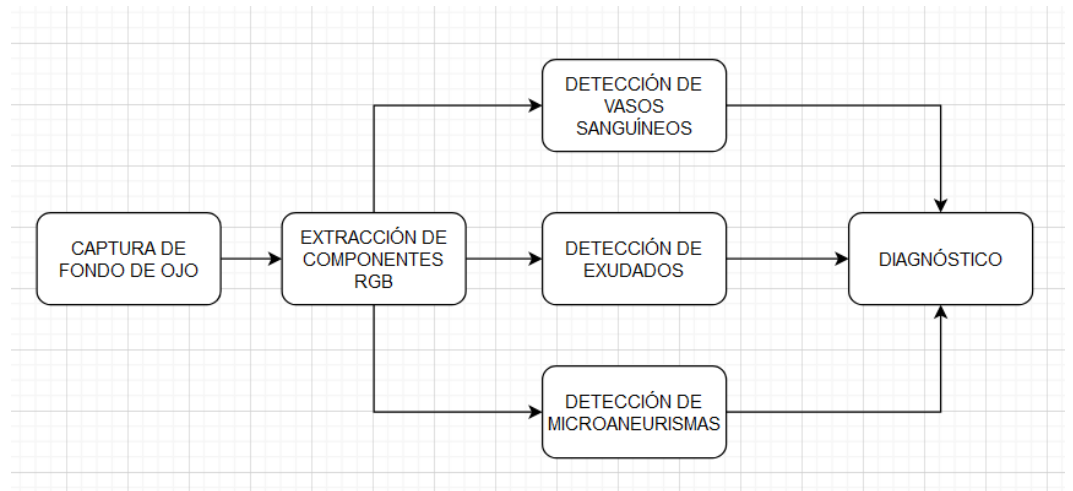


Figura 11: Diagrama de flujo usado para el diseño del sistema de detección de retinopatía diabética

A continuación, se empezará a describir qué técnicas del procesamiento digital de imágenes fueron utilizadas en cada bloque.

3.4.3 Procedimiento para detección de vasos sanguíneos

Realizar la identificación de los vasos sanguíneos y el estado en que se encuentran, es necesaria para la detección de la retinopatía diabética. Las imágenes obtenidas de directamente de la cámara retinal suelen tener un brillo en la parte central e ir disminuyendo el brillo en dirección lateral, es por ello que, el pre procesamiento es primordial para reducir este efecto y lograr tener uniforme a la imagen.

Para identificar a los vasos sanguíneos se procesa la imagen que contiene la capa verde. Después se procede a segmentar la imagen (capa verde) y aplicar técnicas de procesamiento de imágenes para borrar el disco óptico. Luego se segmenta la imagen y se hace un ajuste del contraste, para luego eliminar el ruido que vienen a ser los píxeles pequeños. Adicionalmente se procesa una imagen en el componente verde utilizando

segmentación para crear una máscara. Luego, se comparan ambas imágenes y se eliminan las diferencias encontradas. La imagen resultante representará los vasos sanguíneos de la imagen original.

A continuación, se explica a más detalle cómo se realiza el proceso mencionado en el párrafo anterior.

La imagen (Figura 12) se pre procesa primero para normalizar su tamaño. Luego el componente verde de la Figura 12 se le calcula su complemento, todo esto antes de que ecualicemos su histograma.

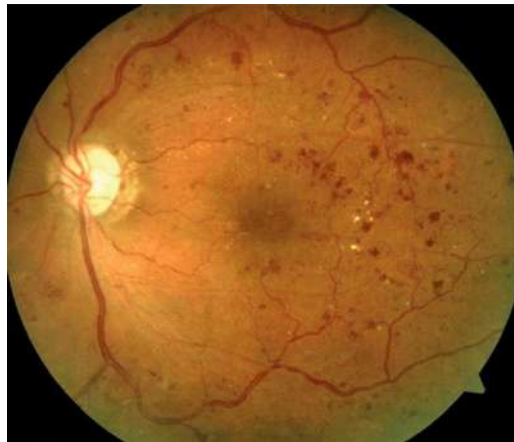


Figura 12: Imagen de fondo de ojo original

El disco óptico mencionado anteriormente es la sección circular de color negro en la imagen, como se puede observar en la Figura 13. La imagen invertida se erosiona, con la finalidad de proteger los vasos sanguíneos pequeños cuando se reducen sus tamaños, posteriormente se dilata la imagen, con el objetivo de ampliar los detalles restantes más grandes (Figura 14), estos detalles serán eliminados después.

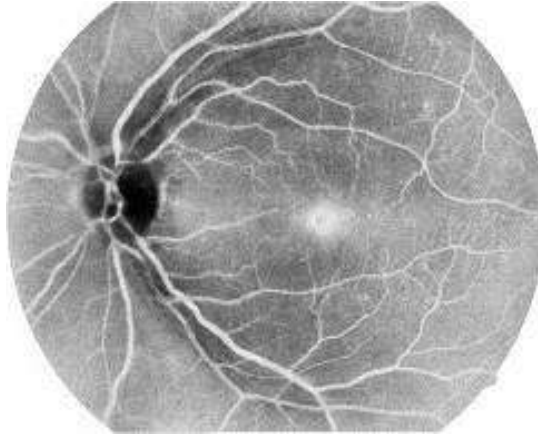


Figura 13: Imagen invertida y luego ecualizada su histograma

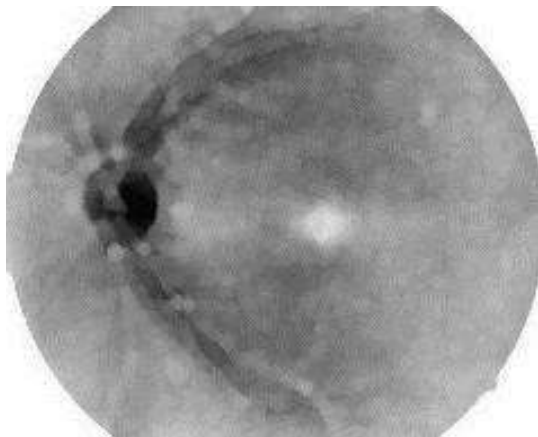


Figura 14: Imagen luego de la aplicar la apertura morfológica.

Luego eliminamos el disco óptico haciendo una resta entre la Figura 13 y la Figura 14, obteniendo como resultado la figura 15.

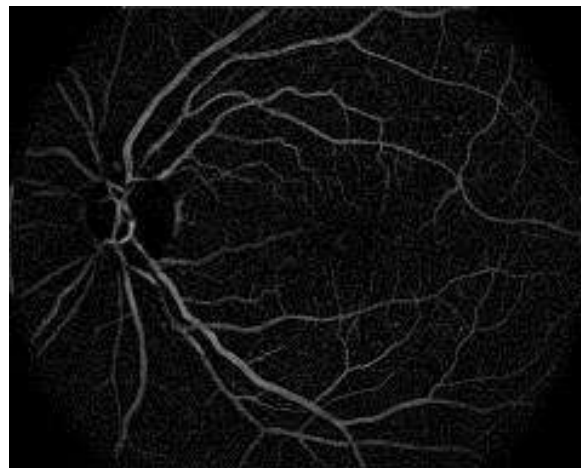


Figura 15 Imagen tras eliminar disco óptico

La imagen obtenida de realizar la resta (Figura 15) debe ser transformada a una imagen binaria y esto la haremos usando la función "im2bw". Esta función lo que hace es una segmentación por umbral, es decir a los píxeles los convierte a 1 binario (blanco) si sus valores son mayores a el umbral asignado y a 0 binario (negro) para valores por menores al del umbral. La imagen obtenida luego de hacer la binarización es la que se muestra en la Figura 16.

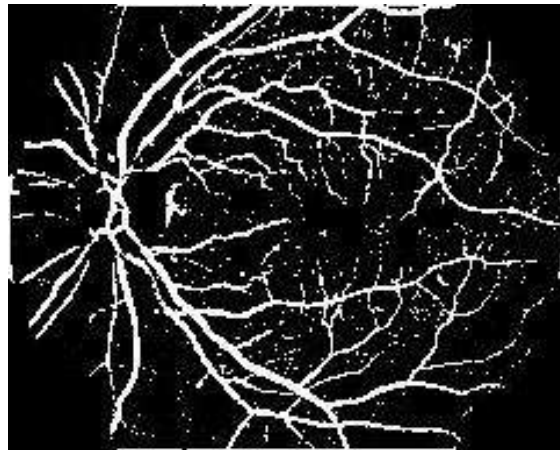


Figura 16. Vasos sanguíneos después de segmentación de imagen

Observamos que la imagen aún sigue teniendo ruido, para eliminar este ruido se aplica la función "bwareaopen" con la finalidad de eliminar áreas pequeñas de píxeles que se considera como ruido, obteniendo como resultado la figura 17.

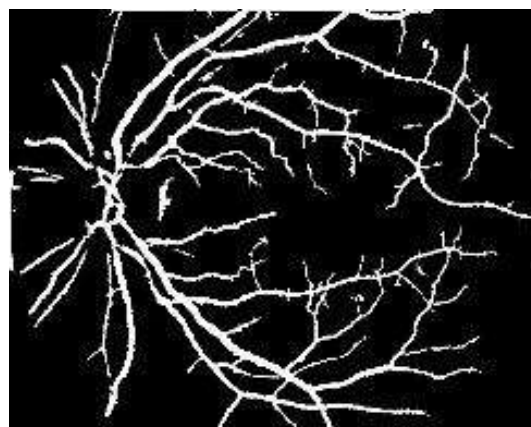


Figura 17. Imagen binaria después de eliminación de ruido

Continuando con el proceso, ahora a la imagen de la capa verde (Figura 12) también se le ecualiza su histograma (Figura 18) y se la binariza usando método de segmentación por umbral (Figura 19) con el objetivo de identificar a los vasos sanguíneos.

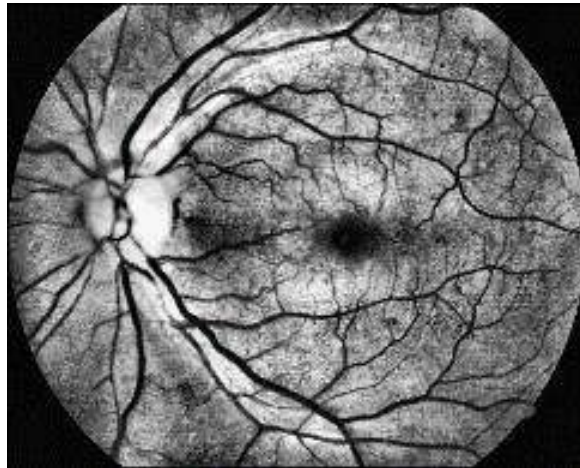


Figura 18 Imagen después de ecualizar su histograma

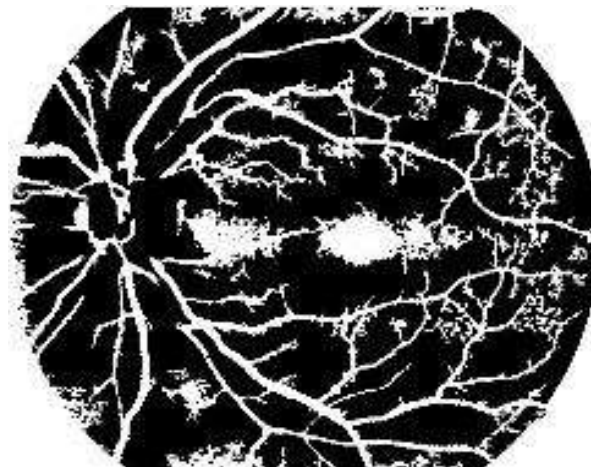


Figura 19. Vasos sanguíneos identificados luego de aplicar la segmentación por umbral y eliminando el ruido

Como se puede notar, algunos vasos sanguíneos desaparecen en la zona del disco óptico tras aplicar la segmentación de la imagen. Por consiguiente, se genera una máscara para conservar esos vasos sanguíneos específicos mediante el uso de la lógica AND, la que se muestra en la figura 20.

La imagen de la Figura 19 se mezcla con la máscara (Figura 20) y se compara con la imagen previa del vaso sanguíneo (Figura 17) utilizando la lógica AND.

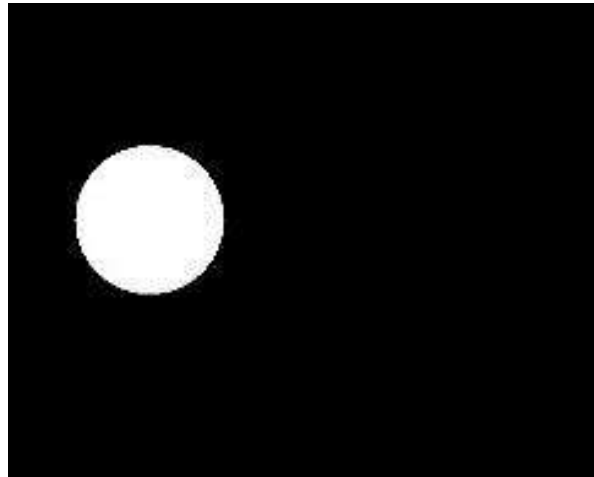


Figura 20: máscara para conservar vasos sanguíneos.

Al realizar esta comparación los píxeles con similitud toman el valor de 1 binario (blanco) y son los que representan los vasos sanguíneos, tal como se muestra en la figura 21.

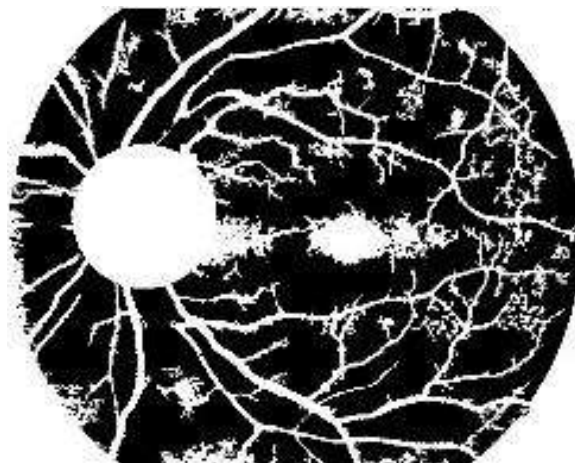


Figura 21: Imagen combinada después de eliminar el ruido.

Por último, se realiza la eliminación del borde circular obteniendo como resultado la imagen que contiene a los vasos sanguíneos (Figura 22).

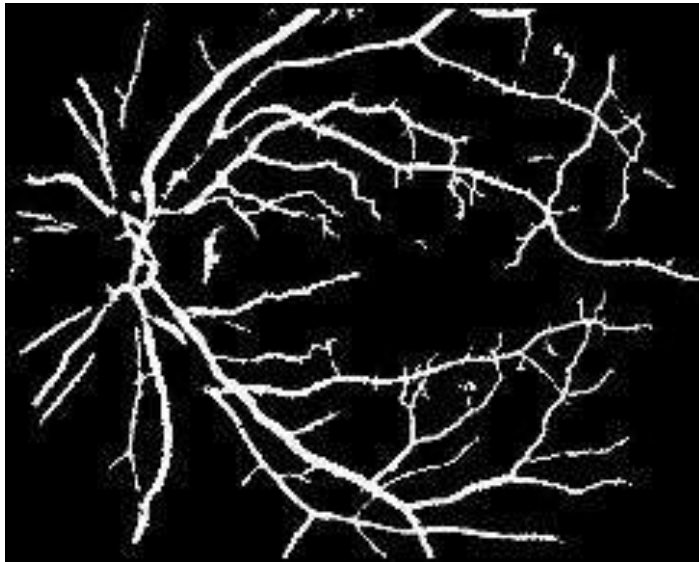


Figura 22: Imagen de vasos sanguíneos.

3.4.4. Procedimiento para detección de exudados

Se conoce como exudados duros o lipídicos a las lesiones amarillas con los bordes bien definidos que suelen estar vinculados a microaneurismas con fugas de líquido o microhemorragias. Habitualmente están formados por lipoproteínas y macrófagos cargados de lípidos.

Los exudados aparecen como puntos brillantes de color blanco amarillento en la retina, resultantes del sangrado de los vasos sanguíneos anormales.

Para la detección de los exudados se seguirá el siguiente procedimiento. Se transforma en primer lugar la imagen a escala de grises, la cual se pre procesa primero con la finalidad de uniformizarla, luego se eliminarán los vasos sanguíneos para poder observar la región donde se encuentran de los exudados. Los exudados serán detectados luego de borrar el borde del disco óptico y también el área que no cuenta con exudados.

Primero procesamos la imagen del fondo de ojo para uniformizar su tamaño (Figura 23) y luego se hace un ajuste de la intensidad de la imagen en el formato de escala de grises (Figura 24).



Figura 23. Imagen de fondo de ojo original.

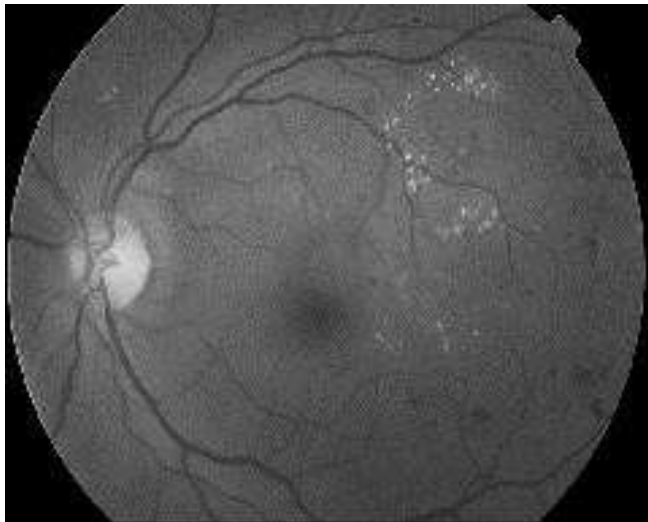


Figura 24. Imagen convertida a escala de grises con su ajuste de intensidad.

Luego con la función “dilata” vamos a extender el área de exudados y adicionalmente usaremos la función “erode” para eliminar los vasos sanguíneos, obteniendo la figura 25.



Figura 25. Imagen después cierre morfológico.

Luego la imagen (Figura 25) se transforma en una imagen con datos de precisión doble usando la función "colfilt", esto con la finalidad de marcar la zona de exudados antes de transformarla en uint8 tal como se observa en la Figura 26.

Posteriormente esta imagen se binariza a través de la función "im2bw" eligiendo un correcto valor de umbral para poder filtrar la zona de los exudados.

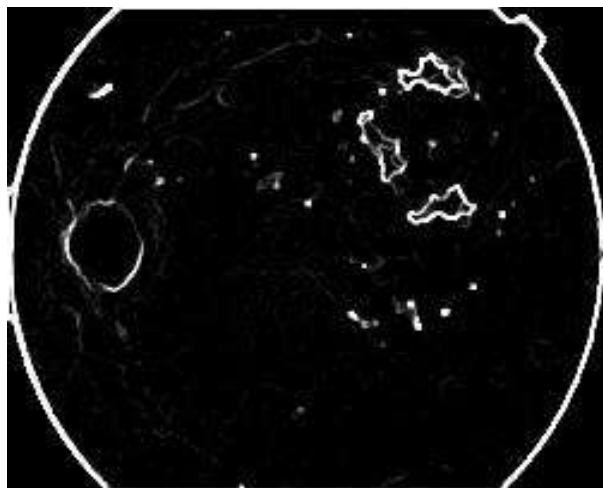


Figura 26 Imagen después de filtro columna.

La posición del disco óptico se identifica mediante los puntos más luminosos en la imagen en escala de grises. Luego, se genera una máscara circular para cubrir dicha área.

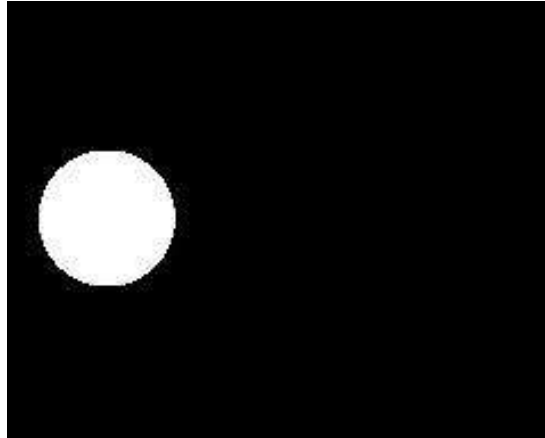


Figura 27. Máscara creada para eliminar el disco óptico.

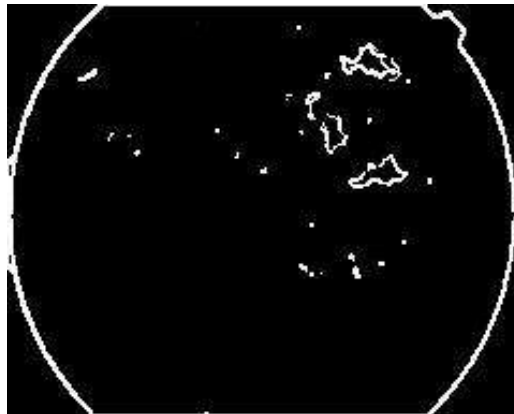


Figura 28. Imagen con el disco óptico borrado.

Para obtener las zonas de los exudados primero se elimina el borde circular y a través de la función “dilate” se llenan los exudados, luego usando la función “erode” se marcan sus tamaños.



Figura 29. Zonas de exudados.



Figura 30. Imagen luego de aplicar cerradura morfológica

Luego a través de la función "im2bw", y en escala de grises, extraemos las imágenes de los no exudados (entidades oscuras) representándolas como 1 binario (blanco) luego que se invertiera la intensidad de imagen de la Figura 30.



Figura 31. Imagen con características oscuras

Finalmente se aplica lógica AND entre las imágenes de Figura 30 y Figura 31 para localizar los exudados, esto se puede apreciar en la Figura 32



Figura 32 Exudados después de realizar lógica AND (representadas como blancas).

3.4.5. Procedimiento para detección de microaneurismas

Los microaneurismas son expansiones en la pared de pequeños vasos sanguíneos en la retina conocidos como capilares. Se presentan como pequeñas protuberancias formadas a partir de vasos sanguíneos debilitados y son el primer indicio clínico de la retinopatía diabética. Por ello, es crucial detectarlos en las etapas tempranas. La cantidad de microaneurismas tiende a aumentar conforme progresa la retinopatía.

Para identificar los microaneurismas, se sigue este procedimiento: primero, se utiliza la imagen en escala de grises para detectar el borde circular y la máscara del disco óptico. Luego, se emplea el método Canny para localizar los bordes antes de eliminar el borde circular y rellenar el área pequeña encerrada. A continuación, se eliminan las áreas más grandes y se aplica la lógica AND para descartar los exudados. Finalmente, se eliminan los vasos sanguíneos y el disco óptico, permitiendo así la identificación de los microaneurismas.

Primero, se ajusta el tamaño de la imagen de fondo de ojo para estandarizarla y, a continuación, se convierte a escala de grises.

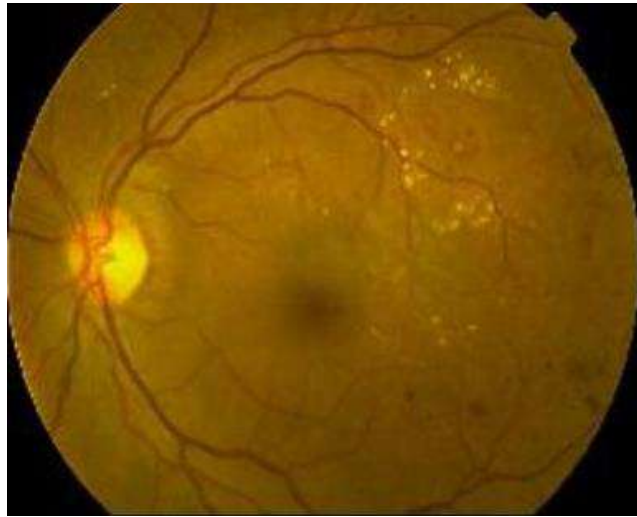


Figura 33. Imagen de fondo de ojo original.

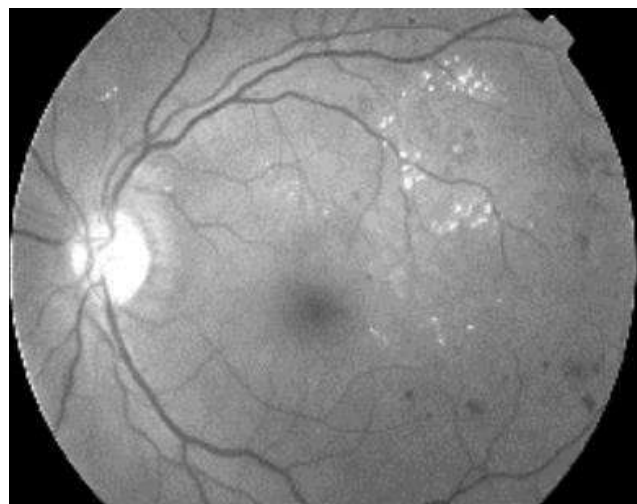


Figura 34. Imagen a escala de grises.

A continuación, se aumenta el contraste de la imagen (Figura 34) mediante la ecualización del histograma (Figura 35). Posteriormente, se realiza la detección de bordes utilizando el método de Canny para identificar los contornos de la imagen, como se muestra en la Figura 36.

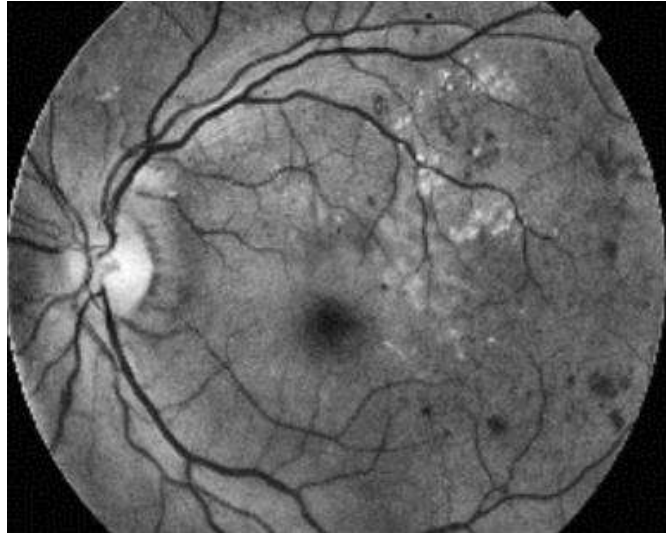


Figura 35. Imagen después de aplicar ecualización del histograma



Figura 36. Imagen de bordes obtenida al aplicar filtro Canny

Debemos remover el borde circular de la imagen (Figura 36) antes de usar la función "imfill" para rellenar el área cerrada, lo que dará como resultado la Figura 37.



Figura 37. Imagen después de aplicar función "imfill"

A continuación, se resta la imagen de bordes y se utiliza la función "bwareaopen" para eliminar el área más grande, resultando en una imagen que revela los microaneurismas (Figura 38). Sin embargo, la imagen puede seguir conteniendo ruido, como vasos sanguíneos y exudados.



Figura 38. Imagen después de restar bordes y eliminar área grande

Dado que los exudados aparecen como puntos brillantes en la imagen, se utiliza la ecualización del histograma y la segmentación de imagen en la imagen de la Figura 34 para eliminarlos, resultando en la Figura 39.

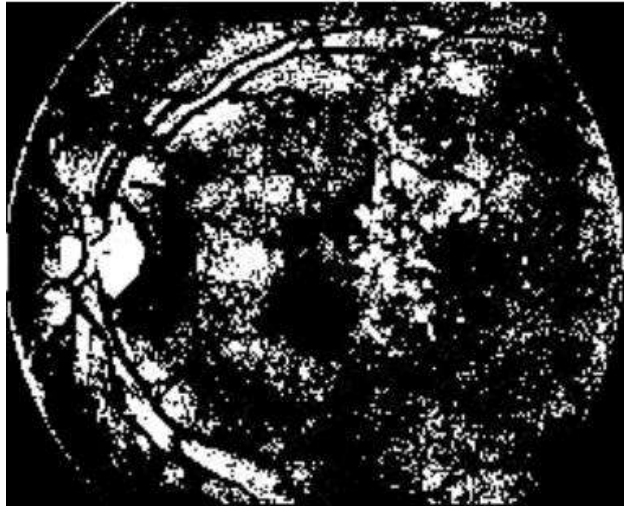


Figura 39. Imagen después de aplicar ecualización y segmentación

Luego estas características brillantes se comparan con la figura 38 usando la lógica AND para eliminar los exudados.

Ahora los vasos sanguíneos se extraen después de aplicar a la imagen de la figura 34 ecualización de histograma y segmentación de imagen, obteniéndose una imagen más clara de los vasos sanguíneos (Figura 40) después de eliminar el área pequeña de ruido.



Figura 40. Imagen de vasos sanguíneos después eliminar el área pequeña con ruido

Posteriormente, esta imagen se compara usando la lógica AND con el resultado previo de la lógica AND para eliminar los vasos sanguíneos.

Por último, los microaneurismas se obtienen después de eliminar el pequeño ruido y el área del disco óptico.

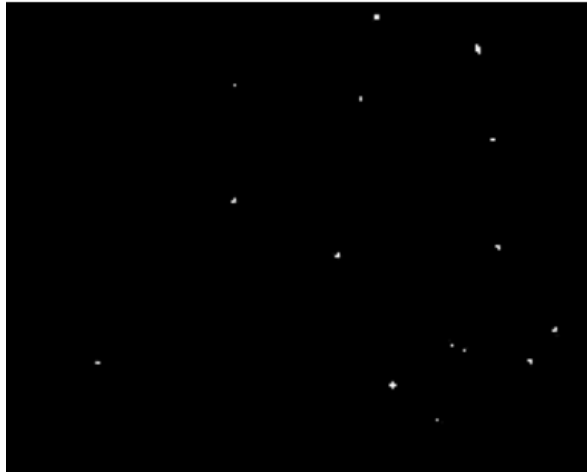


Figura 41. Imagen conteniendo los microaneurismas


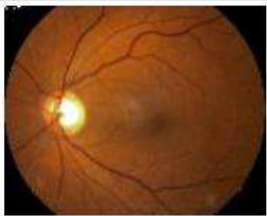
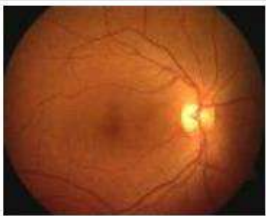
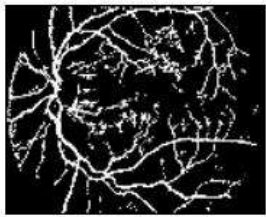
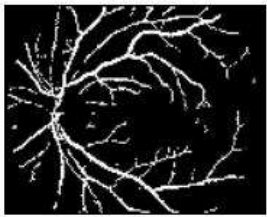
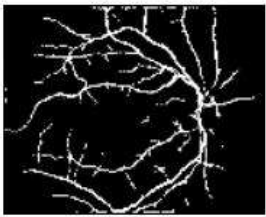






3.4.8. Identificación de grado de severidad de la retinopatía diabética.

Los criterios de evaluación de la severidad de la retinopatía diabética, según el personal médico lo evalúa según:

1. Estado de los vasos sanguíneos
2. Microaneurismas detectados.
3. Exudados detectados.
4. Área total que ocupan los microaneurismas en la imagen.
5. Área total que ocupan los exudados en la imagen.

Es por ello que es de gran importancia que se haga un correcto procesamiento de la imagen de fondo de ojos para que esto ayude a tener un diagnóstico más rápido del nivel de severidad de la retinopatía del paciente.

A continuación, se muestra en la tabla 2 el resultado de analizar 3 imágenes de fondo de ojos después de aplicar los algoritmos para la detección de vasos sanguíneos y su estado, presencia de exudados y microaneurismas, y también el diagnóstico que dio el personal médico después de observar estos resultados.

Características	Avanzado	Medio	Normal o leve
Imagen			
Vasos Sanguíneos			
Exudados			
Micro-aneurismas			

3.4.8. Diseño de la interfaz gráfica del usuario.

En esta sección, describimos la interfaz gráfica de usuario (GUI), su diseño y cómo se está implementando en este proyecto. Las etapas típicas de creación de una GUI son:

- El diseño de la interfaz de usuario
- La programación de archivos m-file conteniendo los algoritmos de detección

- Ejecución del diseño.

Utilizando el GUIDE Layout Editor, podemos diseñar de forma rápida al arrastrar componentes como botones, controles deslizantes y botones de opción al área de diseño. También es posible mostrar imágenes o gráficos con esta herramienta. GUIDE generará automáticamente un archivo m-file que se encarga de inicializar y gestionar las operaciones. Se puede agregar código de programación a los eventos de función para ejecutar las tareas previstas.

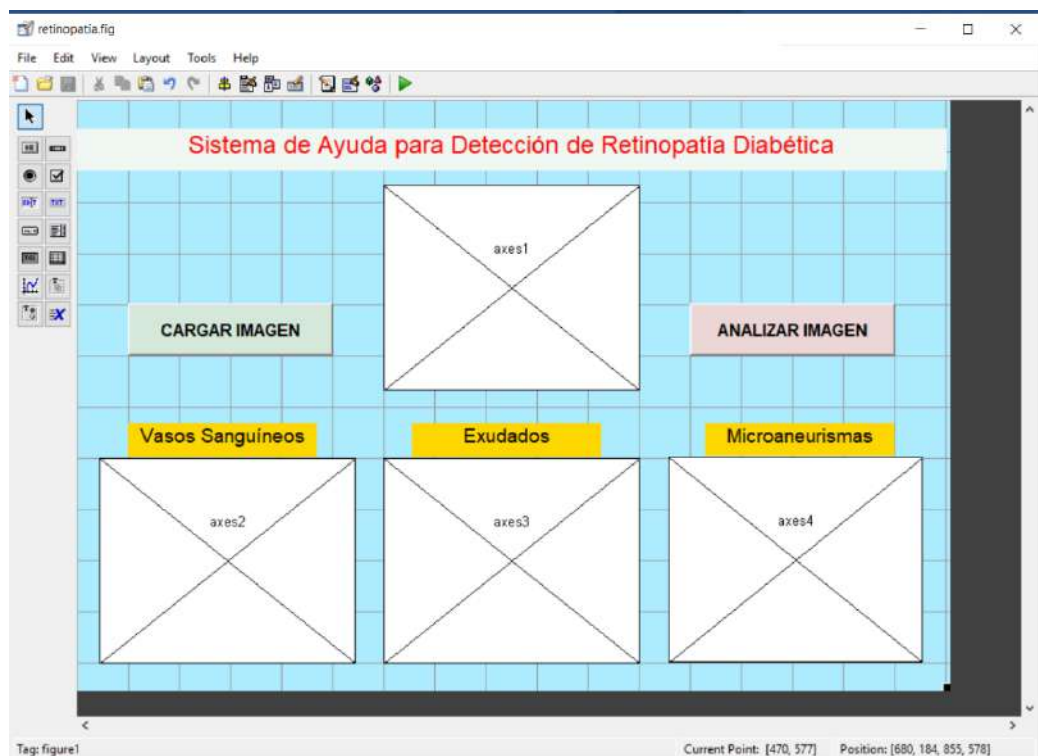


Figura 42 Plantilla de diseño GUI de la aplicación.

La interfaz gráfica de usuario se emplea para la identificación automática de las 3 patologías de la retinopatía diabética y está compuesta por los siguientes elementos:

1. Botón de carga de imagen de fondo de ojos a analizar
2. Área donde se muestra imagen de fondo de ojos.
3. Botón para iniciar el procesamiento de la imagen.
4. Áreas de imágenes de visualización de las 3 patologías.

La imagen del fondo de ojo original se mostrará cuando se haga la búsqueda de la imagen de fondo de ojos. Luego de hacer clic en el botón de análisis, GUI realizará la extracción de características y estado de los vasos sanguíneos, exudados microaneurismas. Las características de imágenes según la patología encontrada se mostrarían luego en la salida de las imágenes. Con estas imágenes resultantes después de hacer el análisis el personal médico podrá dar un diagnóstico más rápido del nivel de gravedad de la retinopatía diabética. (normal o leve, medio y avanzado).

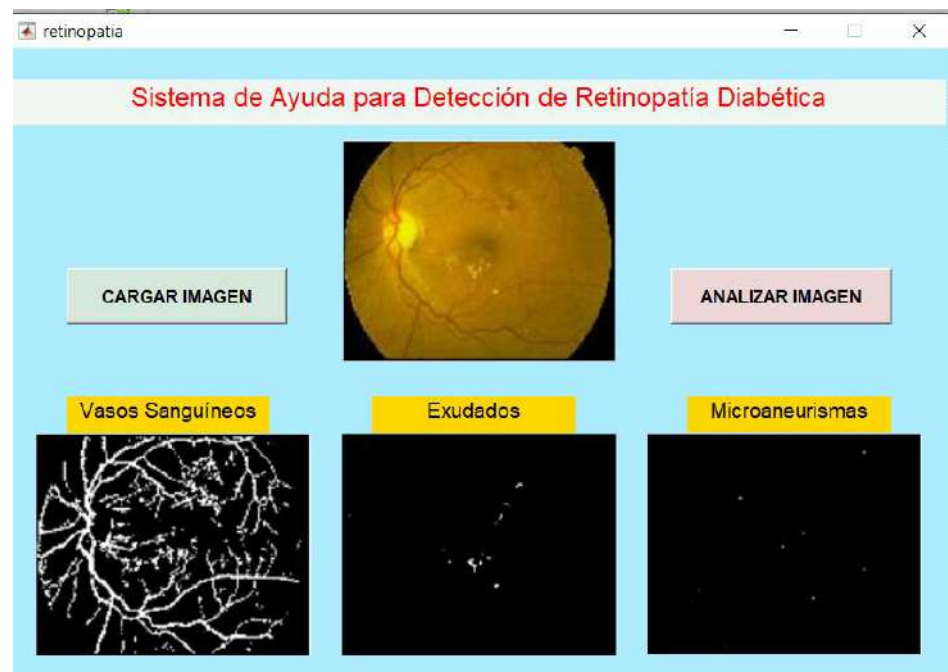


Figura 43 Interfaz gráfica GUI de la aplicación.

3.5. Procesamiento y Análisis de Datos

A continuación, se muestra en la Tabla 3 el resultado de los diagnósticos del personal médico de los 56 pacientes que se atendieron en la campaña médica. Estos diagnósticos lo dieron el personal médico a cargo de las consultas únicamente observando las imágenes que brinda la cámara y haciendo usos de algunas funciones de la cámara.

Tabla 3. Resultados de diagnósticos usando la cámara retinal

	Resultado diagnostico
Normal	13
Medio	32
Avanzado	11
Total	56

Cabe mencionar que el tiempo que se demora en dar el diagnóstico un médico depende mucho de su experiencia y del uso que sepa darles a las funciones de la cámara retinal. El personal médico por lo general se toma entre 15 a 20 minutos en hacer su diagnóstico, esto va a depender que tan rápido pueda identificar las anomalías encontradas en la imagen del fondo de ojos.

Para evaluar que tanto les ayudaba en hacer un diagnóstico más rápido se les hizo usar el sistema donde se ingresaba cada imagen de fondo de ojo para luego haciendo un solo click, el sistema muestre sus respectivas imágenes con vasos sanguíneos, exudados y microaneurismas detectados por el sistema y ver cuánto se demoraba ahora en hacer su diagnóstico.

Luego de haber usado el sistema para hacer el diagnóstico por el personal médico hubo algunas variaciones en el diagnóstico inicial hecho por el personal médico.

En la tabla 4 se muestra las diferencias que hubo respecto al diagnóstico inicial que hizo el personal médico sin usar el sistema.

Tabla 4. Resultados comparativos de diagnóstico

	Resultado usando sistema	Resultado sin usar sistema
Normal	12	13
Medio	29	32
Avanzado	14	11
Total	56	56

De los 13 diagnósticos que se dieron como normal después de usar el sistema, el personal médico se dio cuenta que 1 de ellos estaba en nivel medio.

De los 32 diagnósticos que dieron de medio después de usar el sistema se dieron cuenta que 2 eran avanzado.

Por último, de los 11 diagnósticos que dieron como avanzado coincidieron el mismo diagnóstico usando el sistema.

En cuanto al tiempo que se demoraron en dar el diagnóstico hubo una disminución considerable, el tiempo varió desde los 5 minutos hasta los 10 minutos, demostrando así que el sistema es de gran ayuda para agilizar el diagnóstico de la retinopatía diabética.

Tiempo en hacer el diagnóstico sin usar el sistema	Tiempo en hacer el diagnóstico usando el sistema
De 15 a 20 minutos	De 5 a 10 minutos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentarán un resumen de los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados.

- ❖ Después de haber implementado las técnicas de procesamiento de imágenes descritas en el capítulo anterior se logró hacer las pruebas necesarias para la detección de vasos sanguíneos de la imagen de fondo de ojo mostrada en la figura 44, dichos vasos sanguíneos se muestran en la imagen de la figura 45.

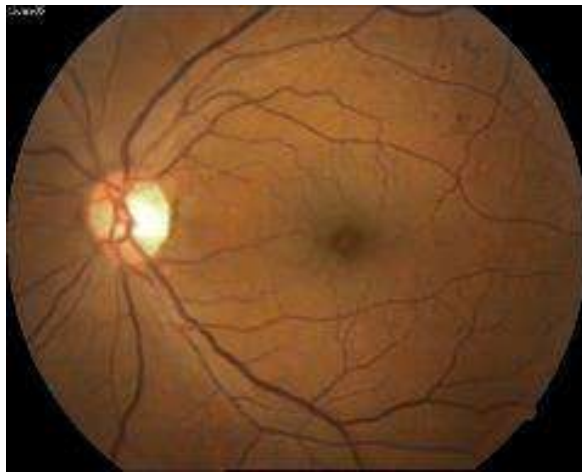


Figura 44: Imagen original de fondo de ojo

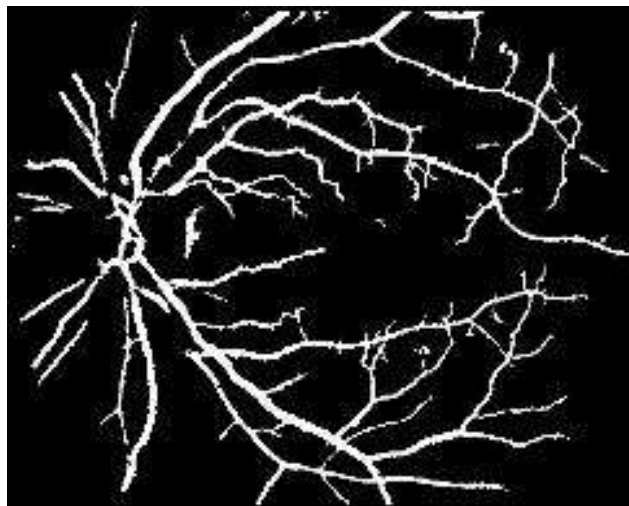


Figura 45 Imagen de vasos sanguíneos

- ❖ En la figura 46 se muestra el resultado de haber procesado la imagen de la figura 44, aplicando las técnicas de procesamiento de imágenes descritas en el capítulo anterior con la finalidad de identificar los exudados, los cuales se aprecian en la imagen de la figura 46.



Figura 46 Exudados encontrados después de procesar la imagen de fondo de ojo

- ❖ En la figura 47 se muestra el resultado de haber procesado la imagen de la figura 44, aplicando las técnicas de procesamiento de imágenes descritas en el capítulo anterior con la finalidad de identificar los microaneurisma, los cuales se aprecian en la imagen de la figura 47.



Figura 47. Microaneurismas encontrados después de procesar la imagen de fondo de ojo

- ❖ Se logró implementar el sistema con todos los requerimientos para un fácil manejo por parte del personal médico, esto se puede evidenciar en la Figura 48.

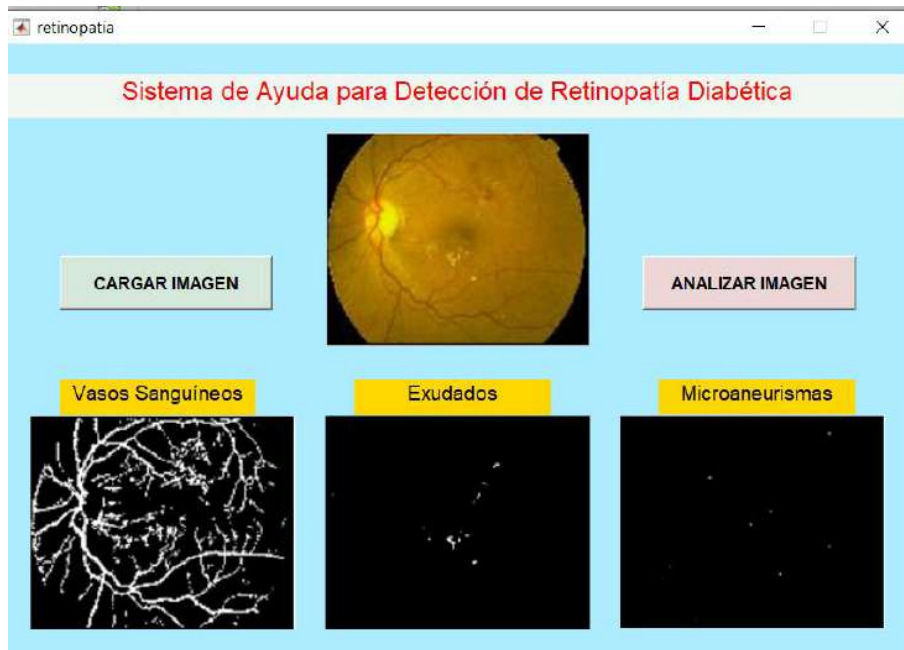


Figura 49 Interfaz gráfica GUI de la aplicación

- ❖ Después de haber usado el sistema por el personal médico se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 5. Resultados comparativos de diagnóstico

	Resultado usando sistema	Resultado sin usar sistema
Normal	12	13
Medio	29	32
Avanzado	14	11
Total	56	56

Tabla 6. Resultados comparativos en cuanto al tiempo de diagnóstico

Tiempo en hacer el diagnóstico sin usar el sistema	Tiempo en hacer el diagnóstico usando el sistema
De 15 a 20 minutos	De 5 a 10 minutos

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Con el uso del sistema de detección automática de retinopatía diabética basada en técnicas de procesamiento de imágenes servirá de apoyo para el personal médico que lo utilice ya que acortará el tiempo en el diagnóstico.
- El sistema de detección automática de retinopatía diabética logró detectar satisfactoriamente afecciones como vasos sanguíneos, microaneurismas y exudados, esto gracias al uso de técnicas de procesamiento de imágenes digitales.
- Se logró hacer un diseño bastante amigable y simple de usar del sistema de detección de retinopatía diabética, esto permitirá que el personal médico no tenga dificultades a la hora de usar el sistema.
- Después de haber ingresado las mismas imágenes de los 56 pacientes diabéticos al sistema y que el personal médico con anterioridad haciendo su propio diagnóstico, hubo algunas correcciones en el diagnóstico original; de los 13 diagnósticos que se dieron como normal después de usar el sistema, el personal médico se dio cuenta que 1 de ellos estaba en nivel medio. De los 32 diagnósticos que dieron de medio después de usar el sistema se dieron cuenta que 2 eran avanzado. Por último, de los 11 diagnósticos que dieron como avanzado coincidieron el mismo diagnóstico usando el sistema.
- Los resultados muestran que el sistema es de gran ayuda para dar un diagnóstico en menor tiempo disminuyendo el tiempo de diagnóstico entre 3 a 10 minutos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. CONCLUSIONES

- Se logró implementar los algoritmos para detectar los posibles signos de retinopatía diabética, teniendo en cuenta las patologías que se pueden encontrar en la imagen de fondo de ojo como las hemorragias, microaneurismas y exudados.
- Se lograron realizar con éxito las pruebas de los algoritmos usando las imágenes de fondo de ojos de un grupo de pacientes para evaluar su eficacia en la detección de dichas patologías.
- Se Desarrolló la interface de usuario que usará el personal médico para apoyo en el diagnóstico de la retinopatía diabética.
- Se redujo el tiempo de diagnóstico de 15-20 minutos a 5-10 minutos.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la investigación para poder detectar otros tipos de afecciones a la retina que el sistema no puede detectar, esto sería de gran utilidad para el personal médico a la hora del diagnóstico.
- Se recomienda tener una base de datos de imágenes retinales mayor para poder implementar una red neuronal y entrenarla para que el sistema pueda dar un diagnóstico automático.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ❖ Organización Mundial de la Salud (2020). Informe mundial sobre la visión.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331423/9789240000346-spa.pdf>
- ❖ Ministerio de Salud del Perú (2018, noviembre). Uno de cada tres diabéticos desarrollará ceguera a causa de la retinopatía diabética. [Nota de Prensa]
<https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/22603-uno-de-cada-tres-diabeticos-desarrollara-ceguera-a-causa-de-la-retinopatia-diabetica>
- ❖ Novartis (2020, julio). Inteligencia Artificial para acelerar el diagnóstico de la retinopatía diabética
<https://www.novartis.com/es-es/stories/inteligencia-artificial-para-acelerar-el-diagnostico-de-la-retinopatia-diabetica>
- ❖ Jaspreet, K.y Sinha, H. (2012). Automated Detection of Diabetic Retinopathy Using Fundus Image Analysis, IJCSIT, 3(4), 4794-4799.
- ❖ Manjula, S.y Ranhesh, V. (2015). Early detection of diabetic retinopathy from retinal
- ❖ Zubizarreta Pico, Asier (2016). Aplicación de las técnicas de redes neuronales para el desarrollo de un sistema de diagnóstico on-line en el proceso de electroerosión por hilo. Escuela técnica superior de ingeniería de Bilbao, Bilbao, España.
- ❖ Garzón Camacho, Alejandro (2004). Mejoras de algoritmos para detección de microaneurismas sobre angiografías de retina digitalizadas. Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

- ❖ Hatanaka, Y., Nakawaka T.y Hayachi, Y. (2007). CAD scheme to detect hemorrhages and exudates in ocular fundus images, SPIE, 6514(65142M), 1-8.
- ❖ Zana, F.y Klein, J. (1999). Multimodal Registration Algorithm of Eye Fundus Images Using Vessels Detection and Hough Transform, IEEE Transactions on medical imaging, 18(5), 419-428.
- ❖ Iqbal, M. y Aibinu, A. (2016). Automatic diagnosis of diabetic retinopathy using fundus images (tesis de maestría). Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Suecia.
- ❖ Velázquez González, Jesús (2011). Sistema diagnóstico asistido por computadora para la detección de la retinopatía diabética no proliferativa usando la red neuronal de retropropagación. Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.