

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS APLICADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DEL GLAUCOMA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES MÉDICAS Y SOFTWARE ESPECIALIZADO”

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Electrónico.

Autores:

Deysi Verónica Herrera Álvarez
María Augusta Flores Rivera

Director:

Ing. Eduardo Pinos MSc.

CUENCA-ECUADOR

Julio 2016

Cesión de Derechos de los Autores

Nosotras María Augusta Flores Rivera y Deysi Verónica Herrera Álvarez, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación denominado: “Implementación de técnicas aplicadas para la identificación y prevención del glaucoma mediante el uso de imágenes médicas y software especializado”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica con mención en Sistemas Industriales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

María Augusta Flores Rivera

C.I. 0301583662

Deysi Verónica Herrera Álvarez

C.I. 0302290390

CERTIFICACIÓN

En calidad de DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN “IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS APLICADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DEL GLAUCOMA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES MÉDICAS Y SOFTWARE ESPECIALIZADO”, elaborado por Deysi Verónica Herrera Álvarez y María Augusta Flores Rivera, declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de titulación basándose en la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, julio del 2016



Ing. Eduardo Pinos Vélez. M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CI: 0102942190

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los autores son los únicos responsables por los contenidos, conceptos, ideas, análisis, resultados investigativos y manifestados en el presente trabajo de titulación ***“IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS APLICADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DEL GLAUCOMA MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES MÉDICAS Y SOFTWARE ESPECIALIZADO”***.

Deysi Verónica Herrera Álvarez

CI: 0302290390

María Augusta Flores Rivera

CI: 0301583662

Cuenca, julio del 2016

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios y la Virgen María, por bendecirme con una familia maravillosa, por protegerme y darme la sabiduría para culminar éste proyecto.

A mis padres, quienes siempre me han dado su apoyo y amor incondicional a lo largo de toda mi vida, gracias por sus consejos, su confianza y por estar a mi lado en éste momento tan importante para mí. Sin su apoyo éste sueño no se hubiera cumplido.

A Andrés por su aporte intelectual y fundamental en la realización de éste proyecto, por compartir sus conocimientos y por regalarme algo invaluable su tiempo, gracias por estar a mi lado compartiendo cada momento especial.

Al Ing. Eduardo Pinos, quién con su guía y apoyo intelectual permitieron la culminación de éste proyecto, gracias por su tiempo, paciencia y motivación.

A mis tios, tias, primos y primas, a quienes siempre los llevo en mi corazón, gracias por su confianza, cariño y apoyo para que yo pueda cumplir esta meta.

A Patricio quien a lo largo de toda esta etapa universitaria me ha brindado su apoyo tanto a nivel personal como estudiantil, gracias por tu amistad.

A todos mis amigos, compañeros y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, por formar parte de ésta etapa de mi vida, muchas gracias por los momentos compartidos.

Daysi

AGRADECIMIENTOS

Hoy tengo el corazón lleno de alegría y satisfacción por haber culminado una meta que hace varios años me lo planteé, a pesar de momentos donde la frustración y la desilusión no faltaron.

Agradezco a nuestro Padre Dios por bendecirme, guiarme e iluminarme en este arduo caminar para alcanzar este objetivo.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, que fueron mi pilar fundamental para la culminación del mismo.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Eduardo Pinos por su apoyo brindado, y por aceptarnos para realizar este proyecto bajo su dirección. Su apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para guiar nuestras ideas ha sido un aporte invaluable para que este trabajo se lleve a cabo.

Al Dr. Carlos Luis Chacón de la Clínica “Santa Lucia” por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia para compartir sus conocimientos y experiencias que fue de mucho valor en esta investigación.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a la Dra. Ana María Núñez quien con su paciencia y su buena voluntad nos acogió y orientó para que este trabajo sea un éxito.

Expreso también mi gratitud a Daysi Herrera por haber sido una gran compañera de trabajo, por brindarme su amistad, confianza y paciencia, por compartir momentos inolvidables y sobre todo por la motivación para culminar este trabajo.

Dios le pague.....

María Augusta

DEDICATORIA

A Dios por darme sabiduría y fortaleza en todo momento.

A mi familia en especial a mis padres Lola y Gonzalo, por darme su amor, apoyarme y cuidarme siempre.

A Andrés por su paciencia, por apoyarme, y ayudarme a cumplir esta meta.

Daysi

DEDICATORIA

A mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mis padres Luis y Nube por su apoyo, por la confianza brindada, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos, son los que me impulsan a seguir triunfando en la vida y sobre todo son mi mayor orgullo.

A mis hermanos Diego, Javier por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar como persona y profesional, de manera especial a Omar y Juan Carlos por estar siempre pendiente de mí y por ayudarme con los recursos necesarios para mis estudios, los amo.

A mi enamorado José por su ejemplo de superación, humildad y solidaridad, por acompañarme en cada momento difícil de esta etapa, por sus palabras de aliento que me brindó cuando parecía que todo se derrumbaba y sobre todo por soportar mi mal genio y frustraciones.

A mis sobrinos quienes han sido y serán mi motivación, inspiración y felicidad.

A mis amigas Rocío, Gabriela y Catalina por estar siempre apoyándome, aconsejándome y sobre todo compartiendo alegrías y tristezas durante este arduo caminar.

María Augusta

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE	13
1.1 SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR	13
1.2 PROYECCIÓN DE DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA EN EL ECUADOR	13
1.3 FISIOLÓGÍA GENERAL DEL OJO	15
1.3.1 RETINA.....	15
1.3.2 NERVIO ÓPTICO.....	16
1.4 GLAUCOMA.....	17
1.4.1 TIPOS DE GLAUCOMA	18
1.4.2 GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO.....	19
1.5 DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA CON IMÁGENES DE FONDO DE.....	19
OJO	19
1.5.1 RELACIÓN DE LA COPA-DISCO (CDR).....	19
1.5.2 REGLA ISNT.....	20
CAPÍTULO 2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BIOMÉDICAS DEL OJO.....	22
2.1 BASE DE DATOS	22
2.2 DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA MEDIANTE LA SEGMENTACIÓN DE LA COPA Y DISCO	22
2.2.1 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO.....	24
2.3 DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA CON EL USO DE LA REGLA ISNT.....	26
2.3.1 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO	27
2.4 DISEÑO DE LA INTERFAZ DEL SOFTWARE EN MATLAB	28
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
TRABAJOS FUTUROS.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Proyección hasta el 2018 de las personas con Diagnóstico de Glaucoma [2].....	14
Figura 1. 2: Anatomía del Ojo. [5].....	15
Figura 1. 3: Retinógrafo no midriático.....	16
Figura 1. 4: a) Nervio Óptico de un ojo sano b) Nervio Óptico de un ojo con Glaucoma. [5].....	16
Figura 1. 5: Imagen de Fondo de Ojo. a) Ojo con Glaucoma b) Ojo Sano [8].	17
Figura 1. 6: Tipos de Glaucoma. a) De ángulo cerrado, b) de ángulo abierto. [9]	18
Figura 1. 7: Disco óptico y copa de un ojo con Glaucoma. [5].....	20
Figura 1. 8: Regla ISNT en el fondo de ojo. [13]	20
Figura 2. 1: Diagrama de Flujo para el Proceso de segmentación de la copa y disco	23
Figura 2. 2: Imagen de Fondo de Ojo. [8]]	24
Figura 2. 3: Conversión de la Imagen de fondo de Ojo a escala de grises.....	24
Figura 2. 4: Eliminación de vasos sanguíneos.	25
Figura 2. 5: Segmentación de la copa y el disco	25
Figura 2. 6: Diagrama de Flujo para el Algoritmo de Diagnóstico de Glaucoma con el uso de la regla ISNT.....	26
Figura 2. 7: Localización del borde y la copa de la imagen de fondo de ojo.....	27
Figura 2. 8: Imagen de la superposición de la copa y disco.....	28
Figura 2. 9: Segmentación del anillo neuroretinal con el uso de la regla ISNT	28
Figura 2. 10: Diseño de la Interfaz del Software para la detección de Glaucoma	29
Figura 2. 11: Interfaz Gráfica del Software para la detección de Glaucoma	30
Figura 3. 1: Comparación del CDR calculado con el CDR Clínico.....	34
Figura 3. 2: Imágenes de Fondo de Ojo con Glaucoma con detección automática de la copa	35
Figura 3. 3: Imágenes de Fondo de Ojo Sano con detección automática de la copa .	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Datos del INEC de Personas con Diagnóstico de Glaucoma en el Ecuador [2].....	13
Tabla 2.1: Descripción de la paleta de componentes.[14]	28
Tabla 3. 1. Imágenes de Fondo con el uso del algoritmo propuesto para la detección automática de la copa y el disco.....	31
Tabla 3. 2: Comparación entre el CDR clínico y el CDR con el Algoritmo Propuesto	32

INTRODUCCIÓN

Hoy en día se ha desarrollado un sin número de avances tecnológicos en varios ámbitos de la sociedad, una de la más importante es aquella que permite ayudar a cada una de las personas que nacen o adquieren algún tipo de discapacidad. En los últimos años, Ecuador, ha sido uno de los países que ha desarrollado diversos programas con la finalidad de ayudar a personas con discapacidad de bajos recursos económicos.

La investigación del glaucoma se ha llevado a cabo en varias partes del mundo, obteniendo varios resultados, los mismos que han permitido comprender un poco más sobre las consecuencias que conlleva el poseer esta enfermedad.

Según la Organización de Estados Americanos, los 3 países con un mayor índice de discapacidad en América son: Perú con el 18.5%, EEUU con el 15% y Ecuador con el 12.8%. [1]. A pesar que se tiene en cuenta la prevención de diversas discapacidades, existen un limitado número de investigaciones para alcanzar satisfacer dicha meta, existen enfermedades silenciosas como el Glaucoma, en donde, únicamente se investigan tratamientos para que ésta no siga avanzando y estabilizar la dolencia. Ecuador es un país en vías de desarrollo por lo tanto no existe la disponibilidad de métodos para la detección y prevención de Glaucoma, la misma que al no ser tratada a tiempo causa daños irreparables en la visión. En países desarrollados existen diversas asociaciones que ofrecen ayuda a las personas que padecen de esta enfermedad y, sobre todo, que cada día se fortalece en la investigación del mismo. En el Ecuador existen médicos especializados en esta área como lo es el Dr. Carlos Luis Chacón, quien manifiesta que en nuestro país existe la falta de investigación e información acerca de ésta enfermedad silenciosa, que va estropeando la vista de niños, adolescentes, adultos y adultos mayores, afectando a todos de un menor a mayor grado, generando ceguera, si no es tratado a tiempo.

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

1.1 SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR

Según los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC, en el Ecuador existe un número elevado de personas con diagnóstico de Glaucoma. Esta enfermedad si no es diagnosticada a tiempo, desarrolla diversas patologías como son la pérdida del campo de la visión y ceguera.

Se observa en la tabla 1.1 que existe una cifra anual de más de 250 personas registradas con ésta enfermedad, esta cifra afecta a todos los grupos de edad, el promedio desde el año 2008 hasta el 2014 muestra que el 10.20% afecta en edades desde el primer año hasta los 24 años, el 22.45% desde los 25 años hasta los 54 años y un porcentaje de 67.33% entre los 55 años hasta más de 65 años, siendo este último grupo de edad las personas más afectadas a causa de esta enfermedad.

Tabla 1.1 Datos del INEC de Personas con Diagnóstico de Glaucoma en el Ecuador [2]

Personas con diagnóstico de Glaucoma en el Ecuador												
Año	Grupos de Edad											Total
	Menos de 1 año	1-4 años	5-9 años	10-14 años	15-19 años	20-24 años	25-34 años	35-44 años	45-54 años	55-64 años	65 años en adelante	
2014	6	5	4	6	5	4	6	15	42	60	119	272
2013	3	4	6	4	5	2	15	13	48	56	127	283
2012	4	4	6	5	4	5	3	15	27	58	113	244
2011	7	8	5	1	5	7	15	22	36	69	132	307
2010	12	6	7	5	7	7	17	22	48	88	153	372
2009	10	5	7	6	4	7	12	20	44	100	189	404
2008	5	5	8	1	8	10	15	25	57	95	191	420

1.2 PROYECCIÓN DE DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA EN EL ECUADOR

La base de datos proporcionada por el INEC presenta las estadísticas de las personas con diagnóstico de glaucoma hasta el año 2014, por lo que se busca a través de una proyección lineal realizar una proyección hasta el año 2018 en el número de personas con diagnóstico de Glaucoma, en base a los datos de la tabla 1.1. En la Figura 1.1 se observa la proyección del Diagnóstico de Glaucoma en el Ecuador.

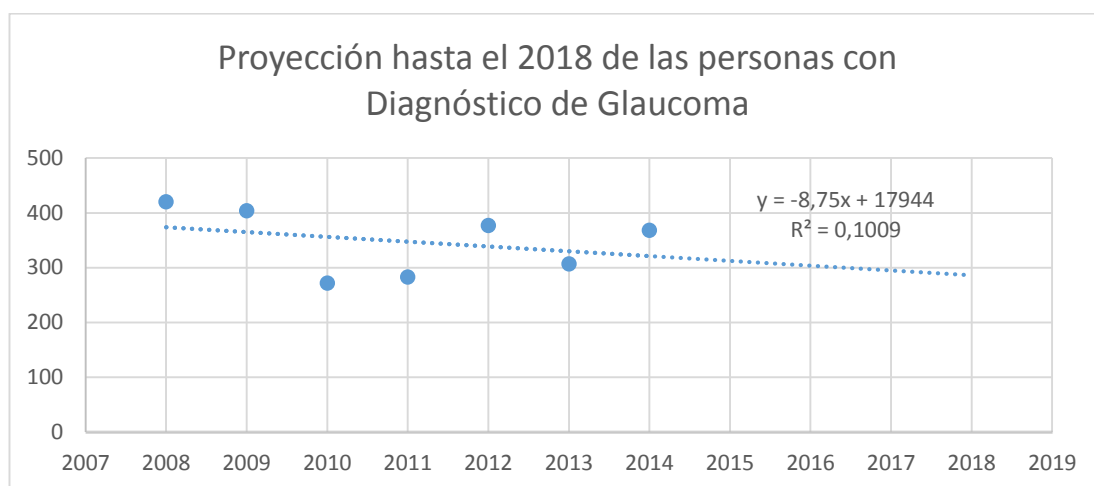


Figura 1. 1: Proyección hasta el 2018 de las personas con Diagnóstico de Glaucoma [2]

Se observa en la figura 1.1, que en el año 2015 el número de personas con el diagnóstico del Glaucoma, es aproximadamente de 312 personas, para el 2016 de 304 personas, para el 2017 de 295 personas y para el 2018 de 286 personas.

El Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnologías de Asistencia (GI-IATa) de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca, mediante la tesis titulada “SIMULACIÓN Y MODELAMIENTO DEL OJO HUMANO COMO HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN DEL GLAUCOMA A TRAVÉS LA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN INTRAOCULAR”[3]. Se planteó el crear conciencia y ayudar a la prevención del Glaucoma. Dicho análisis se desarrolló mediante el modelamiento matemático y la simulación del efecto que provoca el incremento de la Presión Intraocular. El aval del proyecto por parte médica se llevó a cabo con la ayuda del Dr. Carlos Chacón y la Dra. Ana Núñez, quienes colaboraron con una base de datos que incluye el valor del PIO y el grosor de Capa de Fibras Nerviosas Retinianas para realizar análisis.

1.3 FISIOLOGÍA GENERAL DEL OJO

El ojo es uno de los órganos más importantes del ser humano, que a través de la retina convierte todas las sensaciones luminosas que le llegan, a impulsos nerviosos para transmitirlo al cerebro a través del nervio óptico, el cerebro fusiona las imágenes creando un efecto tridimensional para percibir la profundidad y distancia de la visión [4]. A continuación se realizará un estudio de manera general de las partes en la que está constituido el ojo, realizando un énfasis especial en la retina y el nervio óptico ya que son partes fundamentales de análisis en el presente proyecto.

En la Figura 1.2. Se observa la representación de la anatomía del ojo, el mismo que está compuesto por 3 capas [5] [6] tales como son:

- Capa Externa: La misma que está formada por la córnea y la esclera
- Capa Media: Formada por el iris, coroides y el cuerpo ciliar.
- Capa Interna: Esta capa es comúnmente conocida como retina.

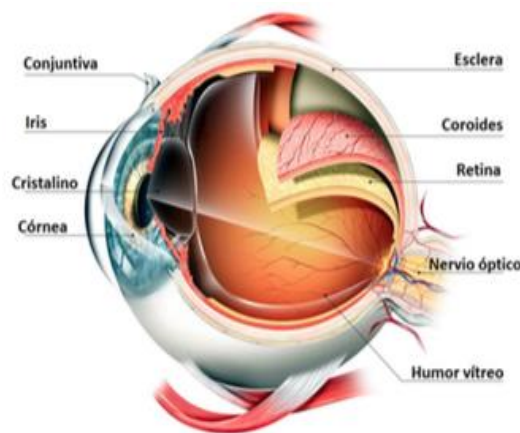


Figura 1. 2: Anatomía del Ojo. [5]

1.3.1 RETINA

La retina es una hoja de tejido nervioso localizada en la capa interior del ojo. Actualmente con el uso de instrumentos oftalmológicos como es el caso del Retinógrafo se puede observar y obtener fotografías digitales del fondo de ojo, las cuales sirven para llevar un historial clínico del paciente. [7]

Existen varios tipos de retinógrafos, dependiendo si se requiere la dilatación del ojo, en la figura 1.3. Se observa un retinógrafo de tipo no midriático el cual requiere de la dilatación del ojo.



Figura 1. 3: Retinógrafo no midriático

Fuente: Los autores

1.3.2 NERVIO ÓPTICO

El nervio óptico es un nervio sensitivo y craneal, su función es transmitir la información visual que le envía la retina hacia el cerebro. Contiene aproximadamente un millón de fibras nerviosas, con la característica de que cada una proviene de una sola célula ganglionar de la retina [5] [6]. En base a estudios realizados, el volumen de fibras por encima de los 90 es normal, entre 80 y 90 es sospecha de patología y por debajo de 80 ya es patológico. En la figura 1.4 se observa una imagen con el nervio óptico de un ojo sano y un ojo con Glaucoma.

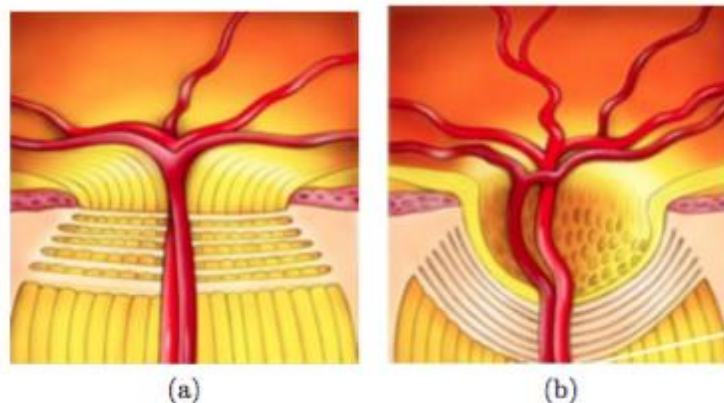


Figura 1. 4: a) Nervio Óptico de un ojo sano b) Nervio Óptico de un ojo con Glaucoma. [5]

Después de haber realizado un análisis general de la fisiología del ojo, se ha analizado algunas enfermedades que producen ceguera como son las cataratas, retinopatía diabética, degeneración macular, retinopatía y glaucoma siendo ésta última nuestro centro de análisis para el presente proyecto.

1.4 GLAUCOMA

El Glaucoma es considerado una de las enfermedades oculares más graves, que se caracteriza por el daño al nervio óptico debido al aumento de la presión dentro del globo ocular, por lo que el desarrollo de ésta enfermedad, depende del nivel de presión que pueda tolerar el nervio óptico sin sufrir algún daño. Como consecuencia del daño en el nervio óptico se produce la pérdida del campo visual, y en el caso de no tratarse o de diagnosticarse demasiado tarde perder por completo el campo de la visión. La mayoría de los pacientes no sabe que padece de esta enfermedad debido a que la misma no produce ningún síntoma hasta que está muy avanzada [7].

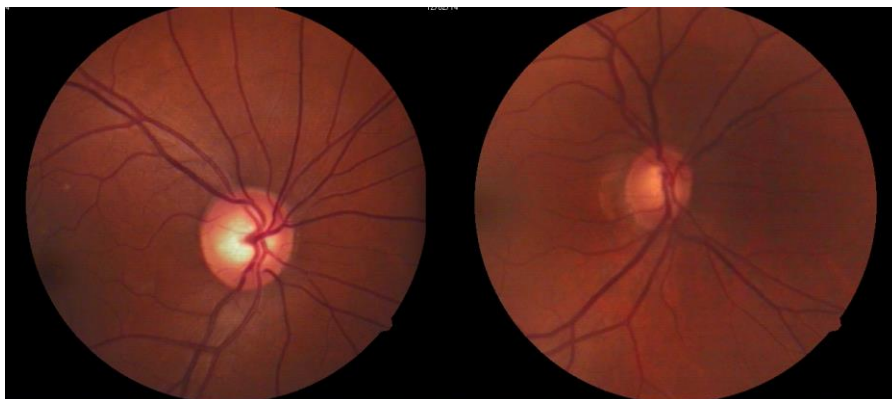


Figura 1. 5: Imagen de Fondo de Ojo. a) Ojo con Glaucoma b) Ojo Sano [8].

Entre las personas que tienen un alto riesgo de desarrollar esta enfermedad tenemos los siguientes:

- Los pacientes con más de 60 años de edad.
- Los pacientes de raza negra
- Las personas con familiares que han padecido glaucoma.
- Los pacientes con Presión Intraocular (PIO) elevada.

Los pacientes que tienen un alto riesgo de desarrollar el Glaucoma son los que padecen de las siguientes enfermedades en los ojos [9] como:

- Miopía Alta
- Uveítis
- Traumatismos
- Retinopatía Diabética
- Trombosis en la retina

1.4.1 TIPOS DE GLAUCOMA

Los tipos de Glaucoma [9] más frecuente son los siguientes:

- Glaucoma de ángulo abierto
- Glaucoma de ángulo cerrado
- Glaucoma Congénito
- Glaucoma de Presión normal
- Glaucoma Secundario.

En la siguiente figura 1.6 se observa una imagen del ojo con los dos tipos de Glaucoma, de ángulo cerrado y de ángulo abierto.

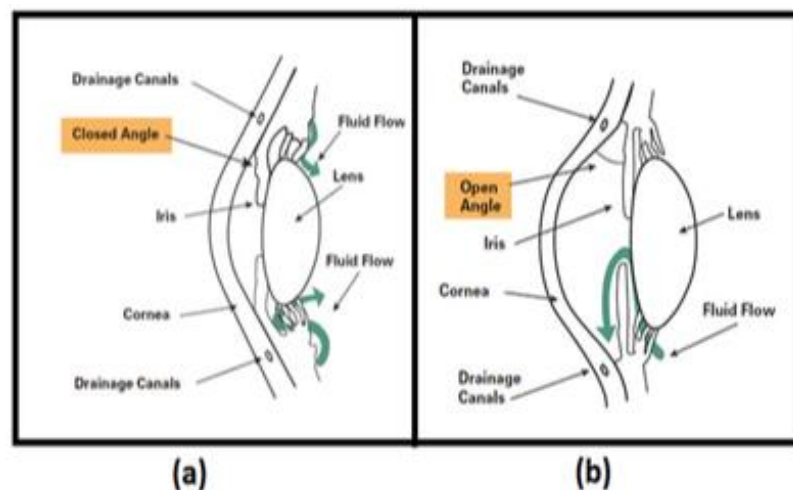


Figura 1. 6: Tipos de Glaucoma. a) De ángulo cerrado, b) de ángulo abierto. [9]

Los datos recopilados en este proyecto se basan en imágenes de fondo de ojo de pacientes con glaucoma de ángulo abierto, debido a que es el tipo de glaucoma más común por lo que a continuación se realiza una descripción breve del mismo.

1.4.2 GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO

Este tipo de Glaucoma se caracteriza por el aumento de la presión ocular de manera lenta y con el paso del tiempo empuja al nervio óptico y a la retina hacia la parte posterior del ojo, es un tipo de glaucoma hereditario siendo más propensas las personas afroamericanas. No presenta síntomas por lo que se da a notar a medida que empieza a perderse gradualmente la visión periférica produciendo la denominada “visión túnel” [10].

Los exámenes [10] para el diagnóstico de Glaucoma son los siguientes:

- Gonioscopía: Mediante el uso de lentes especiales que sirven para observar los canales colectores del ángulo.
- Tonometría usada para medir la presión ocular
- Imágenes del Nervio óptico
- Examen de la Retina
- Agudeza Visual
- Medición del campo visual.

Todos los exámenes antes descritos, están al alcance de hospitales o clínicas privadas de gran tamaño y con alto apoyo financiero, siendo esta una limitación para las personas de bajos recursos y localizadas en lugares alejados de las grandes ciudades.

1.5 DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA CON IMÁGENES DE FONDO DE OJO

Una de las razones más importantes por las que se usó las imágenes de fondo de ojo para el estudio y desarrollo del presente proyecto es el bajo costo, debido a que los exámenes descritos en la sección anterior tienen un costo elevado y de difícil acceso para las personas de bajos recursos. Los aspectos que se debe analizar en una imagen de fondo de ojo son las siguientes:

1.5.1 RELACIÓN DE LA COPA-DISCO (CDR)

En los ojos sanos la presión inter ocular (PIO) se mantiene constante, pero en el caso de los ojos con Glaucoma produce un aumento de la PIO, lo que da como resultado un daño en el nervio óptico. Al existir un aumento de la PIO el tamaño de la copa del

ojo aumenta produciendo un cambio en la relación CDR. En base al análisis propuesto por un especialista en la enfermedad de Glaucoma de la Clínica “Santa Lucía”, el umbral que se toma para diferenciar un ojo sano de un con glaucoma es de 0.3.

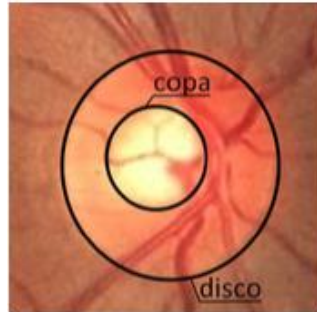


Figura 1. 7: Disco óptico y copa de un ojo con Glaucoma. [5]

1.5.2 REGLA ISNT

De acuerdo con la definición de Werner de la regla ISNT, en un ojo normal, el anillo neuroretiniano es más grueso en la región inferior del nervio, seguido por la zona superior, después por la nasal y finalmente por la temporal, motivo por el cual sus iniciales conforman su nombre (Inferior, Superior, Nasal, Temporal) [11] [12]. El fondo de ojo que no cumpla esta regla será diagnosticado con riesgo de Glaucoma. En la figura 1.8 se observa como esta aplicada la regla ISNT en la imagen de fondo de ojo.



Figura 1. 8: Regla ISNT en el fondo de ojo. [13]

“Si bien el glaucoma afecta todas las fibras del nervio óptico, en cada estado de la enfermedad tiene una localización característica como son las siguientes:

- Durante las primeras etapas del glaucoma, se puede constatar la pérdida anillo neurorretiniano, observándose en el sector inferotemporal y superotemporal.
- Cuando el daño glaucomatoso es avanzado, la lesión se produce en la zona temporal horizontal.
- En glaucomas muy avanzados, el resto del anillo neurorretiniano se ubica en la región nasal con más fibras en la zona superior que en la inferior” [11].

CAPÍTULO 2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BIOMÉDICAS DEL OJO

2.1 BASE DE DATOS

Una de las primeras etapas en el desarrollo del software para el procesamiento de las imágenes de fondo de ojo fue la recopilación de la base de datos, siendo éste un gran inconveniente debido a que no existen una base de datos públicos que fueran analizadas por especialistas. En la Clínica “Santa Lucía” de la ciudad de Quito se obtuvo una base de datos de pacientes tratados por el diagnóstico de Glaucoma. De esta base de datos se usó alrededor de 25 imágenes descartando algunas debido a la calidad de las mismas, ya que al ser muy claras en algunos casos y en otras muy oscuras producen datos erróneos en el procesamiento de las imágenes.

Para el Diagnóstico de Glaucoma como se explicó en el capítulo anterior existen dos tipos de pruebas para comprobar su detección, si la relación copa-disco en su resultado muestra que el paciente padece de esta enfermedad, los especialistas generalmente usan una prueba adicional para comprobar este resultado, que consiste en verificar el ancho del anillo neuroretiniano siguiendo la regla denominada ISNT.

A continuación se muestra la metodología e implementación del algoritmo para la detección de Glaucoma con el uso del software de Matlab, con los tipos de pruebas tanto la relación copa – disco como el uso de la regla ISNT en las imágenes de fondo de ojo.

2.2 DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA MEDIANTE LA SEGMENTACIÓN DE LA COPA Y DISCO

Para la detección de Glaucoma se ha propuesto un algoritmo que localice de manera automática la copa y el disco óptico con el uso de técnicas de procesamiento de imagen. En la figura 2.1 se observa el diagrama de flujo para el algoritmo de relación copa – disco.

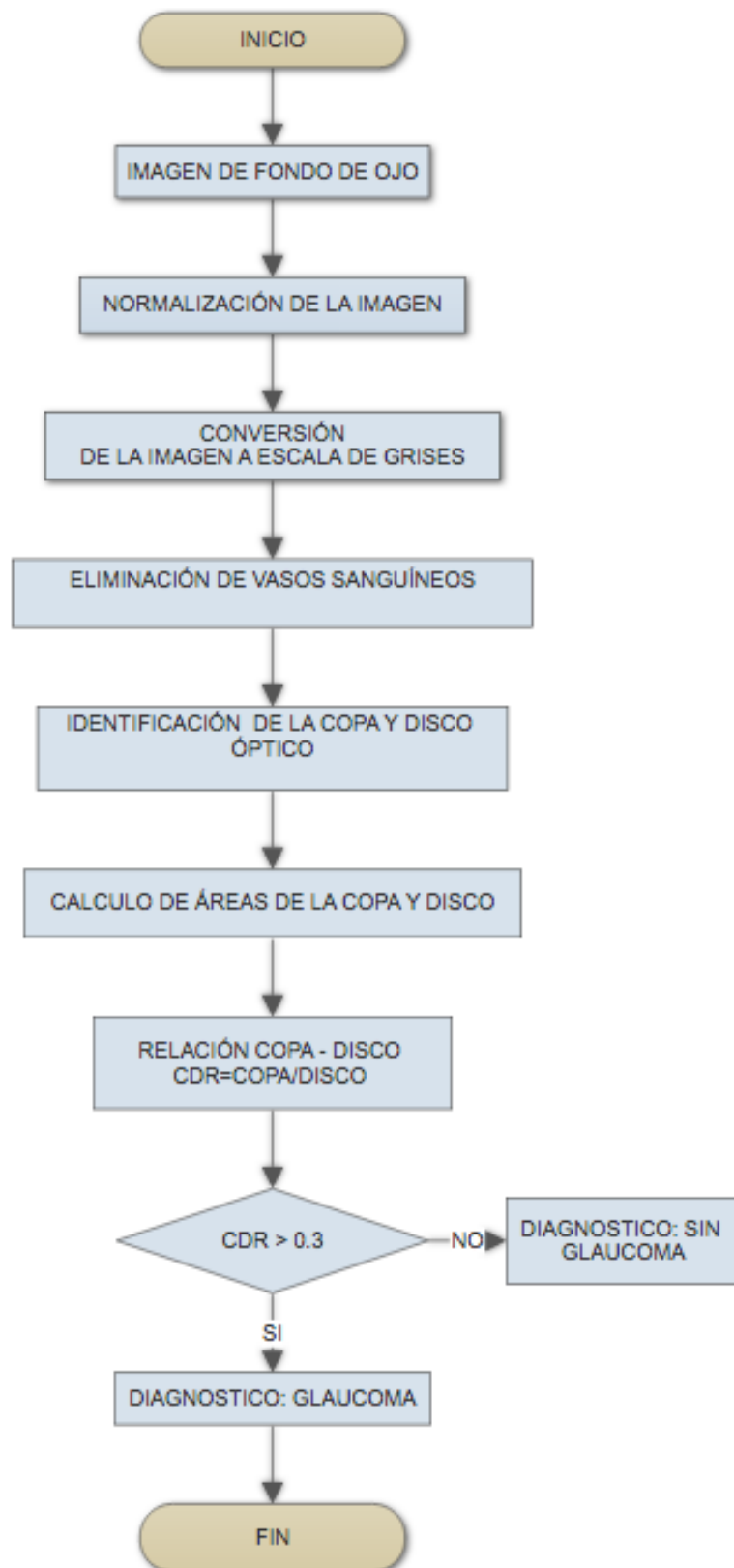


Figura 2. 1: Diagrama de Flujo para el Proceso de segmentación de la copa y disco

Fuente: Los autores

2.2.1 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

En las imágenes de fondo de ojo se observa el disco óptico que se caracteriza por ser la parte de color naranja claro y la parte más brillante de la imagen determina la copa del ojo. En la figura 2.2 se observa una imagen de fondo de ojo de un paciente que tiene Glaucoma.



Figura 2. 2: Imagen de Fondo de Ojo. [8]]

A la imagen original de fondo de ojo se le transforma a escala de grises, con el uso de la librería “rgb2gray” de Matlab para identificar de una mejor manera la copa y disco óptico. En la figura 2.3 se puede observar la conversión de la imagen de fondo de ojo real a escala de grises.

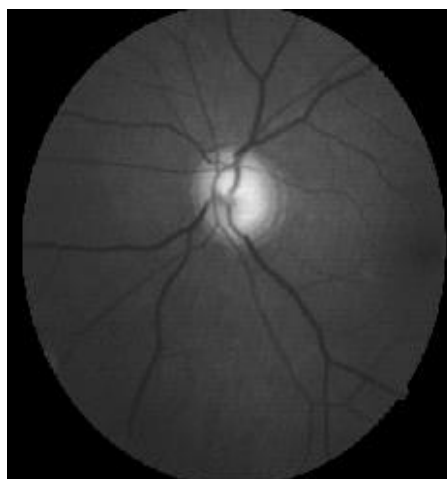


Figura 2. 3: Conversión de la Imagen de fondo de Ojo a escala de grises.

Fuente: Los autores

Una vez la imagen binarizada es necesario usar operaciones morfológicas tales como son la dilatación y la erosión, en este caso se usará la dilatación de la imagen con el objetivo de adicionar pixeles en las fronteras de la imagen, los vasos sanguíneos que se muestran en la imagen de fondo de ojo son características no deseadas que limitan encontrar el área de la copa y el disco. Para atenuar el ruido de la imagen, se aplica un filtro denominado “mediana” con el uso de la librería de Matlab “medfilt2”. En la figura 2.4 se puede observar la eliminación de los vasos sanguíneos y la atenuación de la imagen.

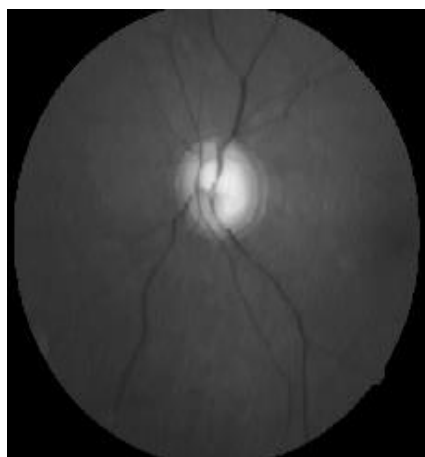


Figura 2. 4: Eliminación de vasos sanguíneos.

Fuente: Los autores

En la figura 2.5 se puede observar la localización de la copa y el disco de la imagen de fondo de ojo, la misma que sirve para encontrar la relación copa- disco, si el umbral es mayor a 0,3 se clasifica la imagen con riesgo glaucoma, si la CDR es menor a 0.3 se clasifica la imagen como normal.



Figura 2. 5: Segmentación de la copa y el disco

Fuente: Los autores

2.3 DIAGNÓSTICO DE GLAUCOMA CON EL USO DE LA REGLA ISNT

Una vez encontrada y analizada la CDR de una imagen de fondo de ojo, se ha visto la necesidad de aplicar otra regla denominada ISNT con el objetivo de comprobar el diagnóstico obtenido con la relación copa – disco. En la figura 2.6 se observa el proceso para aplicar la regla ISNT en la imagen de fondo de ojo.

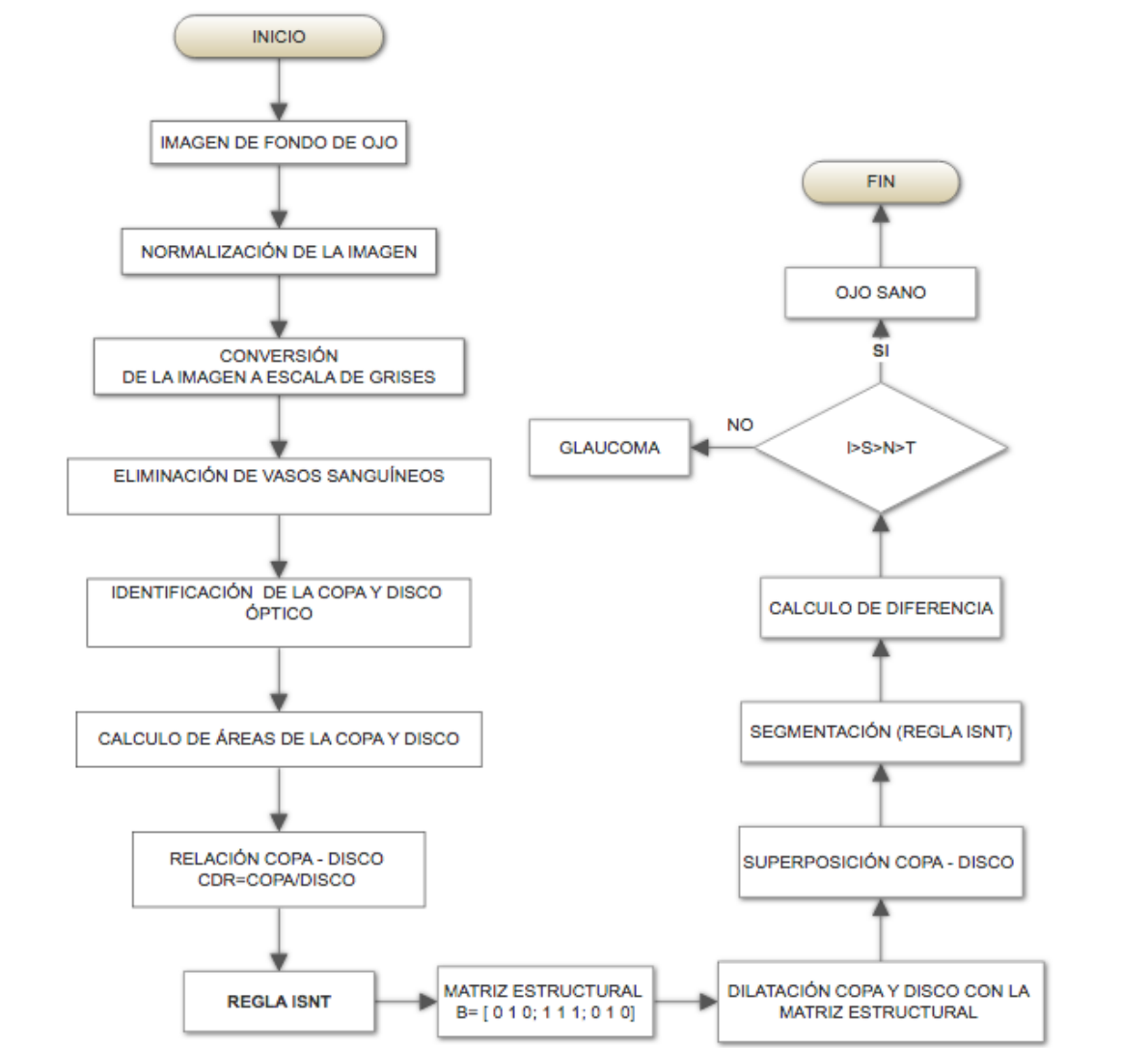


Figura 2. 6: Diagrama de Flujo para el Algoritmo de Diagnóstico de Glaucoma con el uso de la regla ISNT

Fuente: Los autores

2.3.1 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

La detección del Glaucoma con el uso de la regla ISNT tiene como objetivo principal medir el ancho del anillo neuroretiniano, para ello se utiliza una matriz estructural, la misma que sirve para dilatar o erosionar la imagen original y de ésta manera encontrar el borde de la copa y el disco. En la figura 2.7 se observa la detección automática de los bordes de la copa y el disco de la imagen de la figura 2.5.



Figura 2. 7: Localización del borde y la copa de la imagen de fondo de ojo.

Fuente: Los autores

Una vez hecho éste proceso se superposiciona las dos imágenes para formar el anillo neuroretiniano como se observa en la figura 2.8, para realizar la segmentación de la imagen según la regla ISNT. Para clasificar la imagen con el diagnóstico de riesgo de Glaucoma se realiza el cálculo de las distancias de la parte inferior, superior, nasal y temporal. Si la distancia en las tres regiones es mayor que la inferior es una de las prioridades para clasificar la imagen con Glaucoma. Pero si cumple con la siguiente condición: $INFERIOR + SUPERIOR > NASAL + TEMPORAL$, la imagen de fondo de ojo es clasificada como ojo sano. En la imagen 2.8 se observa el anillo neuroretiniano que es el resultado de la superposición de las dos imágenes de la figura 2.7.

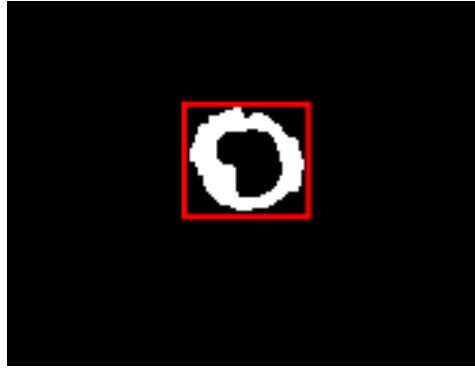


Figura 2. 8: Imagen de la superposición de la copa y disco.

Fuente: Los autores

En la siguiente figura 2.9 se muestra la segmentación del anillo neurorretiniano en base a la regla ISNT, se observa la parte inferior, superior, nasal y temporal.

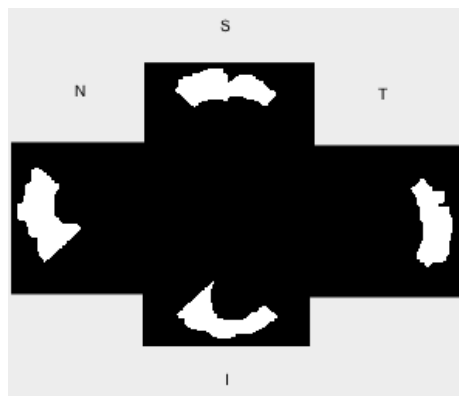


Figura 2. 9: Segmentación del anillo neurorretiniano con el uso de la regla ISNT

Fuente: Los autores

2.4 DISEÑO DE LA INTERFAZ DEL SOFTWARE EN MATLAB

Para el diseño de la interfaz gráfica en Matlab se utiliza el comando “guide”, que es un entorno de programación visual, al ejecutarse dicho comando aparece una ventana de inicio en la que se puede crear un nuevo GUI, para la creación de éste GUI existen varias opciones, en éste caso se utiliza la opción “Blank GUI (default)”, en el que nos permite diseñar la interfaz del programa, una vez creado se visualiza una paleta de componentes que pueden ser usados para el diseño de la interfaz [14]. En la siguiente tabla 2.1 se muestra la descripción de la paleta de componentes:

Tabla 2.1: Descripción de la paleta de componentes.[14]

Control	Descripción
Axes	Muestra imágenes y gráficas
Button Group	Agrupar botones de radio
Panel Group	Agrupar Botones
Static Text	Visualiza el texto
Slider	Rango de valores
Toggle Button	Indica los estados, ON/OFF
Radio Button	Indica una opción que puede ser seleccionada
Push Button	Invoca un evento
List Box	Muestra una lista deslizable
Pop-up menú	Muestra una lista de opciones
Editable text	Caja para editar texto
Check Box	Indica el estado de una opción

En la figura 2.10 se muestra la interfaz del software en la que se observa el uso de tres paneles de control como es el “axes” para mostrar las imágenes de fondo de ojo original y las otras dos para mostrar la imagen de segmentación de la copa y disco, también se observa el uso de cinco “push button”, los mismos que tienen las opciones para cargar imágenes, procesar, y mostrar la CDR.

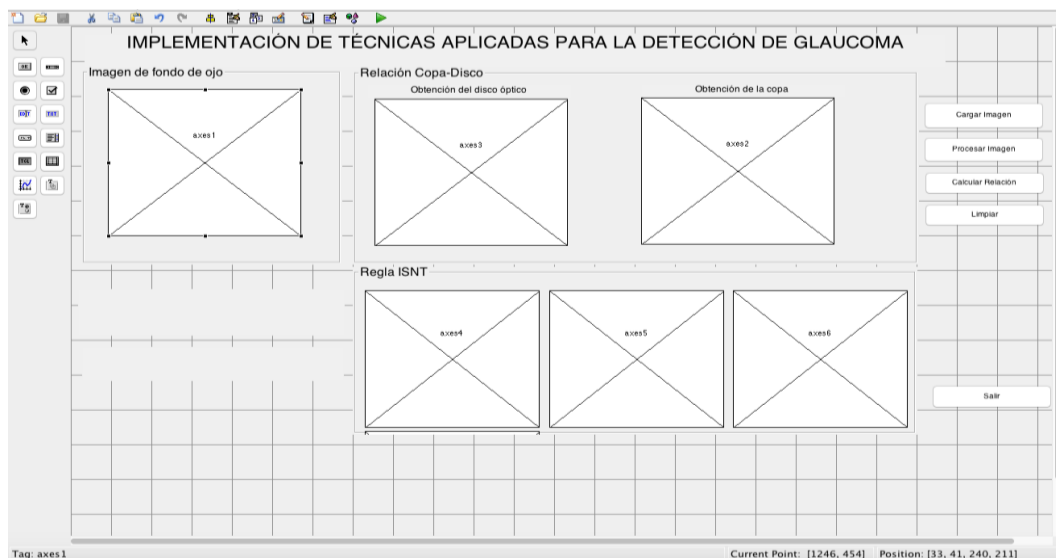


Figura 2. 10: Diseño de la Interfaz del Software para la detección de Glaucoma

Fuente: Los autores

En la siguiente figura 2.11 se observa la interfaz del software con los métodos para la detección de Glaucoma, en la imagen también se observa el cálculo del CDR el mismo que corresponde al valor de 0,3765, éste resultado es con riesgo de Glaucoma para el paciente.

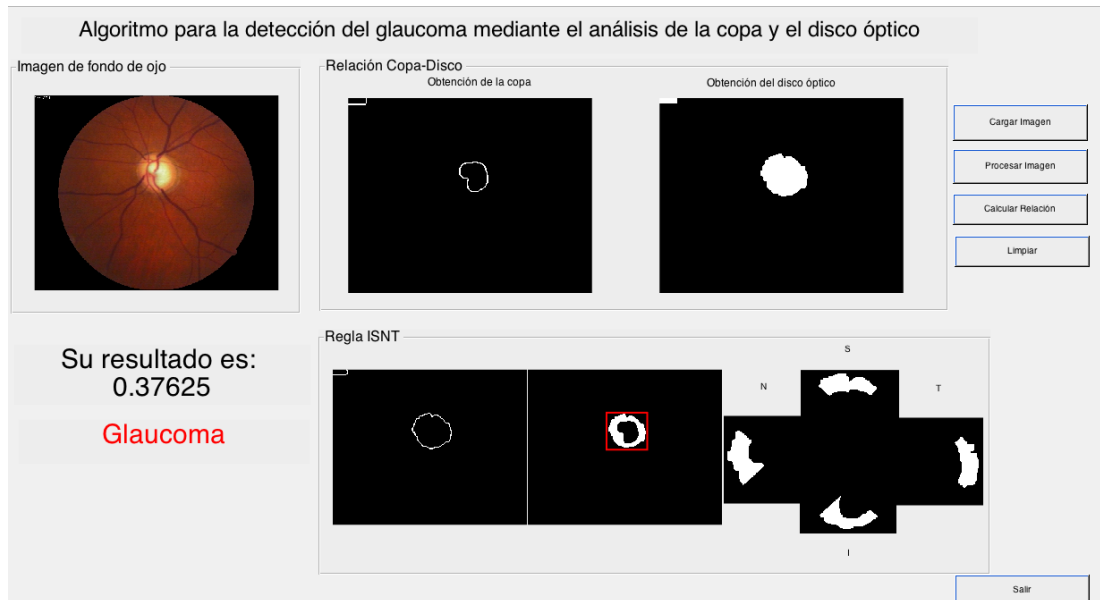


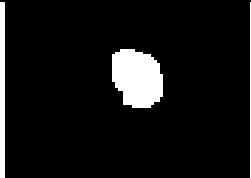
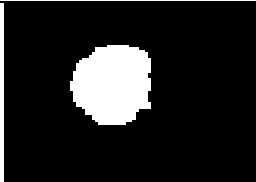
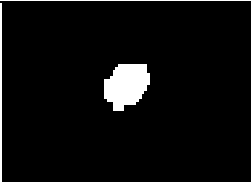
Figura 2. 11: Interfaz Gráfica del Software para la detección de Glaucoma

Fuente: Los autores

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se ha diseñado un algoritmo automático de detección de glaucoma a través de la relación copa-disco. En la tabla 3.1 se reunieron cinco datos de pacientes de la Clínica “Santa Lucía”, los mismos que ya tenían un previo diagnóstico de Glaucoma.

Tabla 3. 1. Imágenes de Fondo con el uso del algoritmo propuesto para la detección automática de la copa y el disco.

	Imagen de Fondo de Ojo	Localización de la copa	Localización del disco
1			
2			
3			
4			
5			

El algoritmo propuesto no es un sistema libre de errores pero es aceptado como una herramienta auxiliar para el uso de los Oftalmólogos que no tienen a su alcance todos los equipos que se necesita para el diagnóstico de ésta enfermedad.

En la primera fila se observa una imagen con el diagnóstico como resultado de Glaucoma, la copa y el disco de la imagen se observa que está localizada de manera correcta. En el caso de la segunda fila se observa un tipo de glaucoma más avanzado, estos tipos de pacientes deben asistir continuamente para llevar un seguimiento sobre el avance del Glaucoma. En la tercera fila se puede observar el fondo de ojo de una persona con la imagen de fondo de ojo de una persona sana, con un CDR: 0,22.

En la tabla 3.2 se realiza una comparación de los valores del CDR clínico y el valor del CDR obtenido con el algoritmo propuesto.

Tabla 3. 2: Comparación entre el CDR clínico y el CDR con el Algoritmo Propuesto

Imágenes de fondo de Ojo	Diagnóstico Clínico	CDR (Oftalmólogo)	CDR (Algoritmo Propuesto)
1	Glaucoma	0,32	0,33
2	Glaucoma	0,38	0,39
3	Normal	0,21	0,22
4	Normal	0,22	0,23
5	Glaucoma	0,53	0,54

De acuerdo a la tabla 3.2 se puede observar los datos de los pacientes obtenidos tanto por un oftalmólogo, como por el algoritmo realizado y se tiene lo siguiente:

Para el paciente 1 se obtiene un diagnóstico clínico de glaucoma, en donde su CDR oftalmológico es de 0.32 y el CDR encontrado mediante el algoritmo propuesto es de 0.33, lo que significa que se tiene un margen de error de 3.12%.

Ecuación 1:

$$E_a = \bar{X} - X_i$$

$$E_a = 0.32 - 0.33$$

$$E_a = -0.01$$

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$E_r = \frac{-0.01}{0.32} \times 100$$

$$E_r = -3.12\%$$

El paciente 2, con un diagnóstico clínico de glaucoma, posee un CDR oftalmológico de 0.38 y su CDR encontrado por el algoritmo propuesto es de 0.39, lo que su margen de error es de 2.63%.

Ecuación 2:

$$E_a = \bar{X} - X_i$$

$$E_a = 0.38 - 0.39$$

$$E_a = -0.01$$

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$E_r = \frac{-0.01}{0.38} \times 100$$

$$E_r = -2.63\%$$

El paciente 3 con diagnóstico normal, tiene un CDR oftalmológico de 0.21 y el CDR encontrado por el algoritmo propuesto es de 0.22, obteniendo un margen de error de 4.76%.

Ecuación

3:

$$E_a = \bar{X} - X_i$$

$$E_a = 0.21 - 0.22$$

$$E_a = -0.01$$

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$E_r = \frac{-0.01}{0.21} \times 100$$

$$E_r = -4.76\%$$

Para el paciente 4 posee un diagnostico normal y un CDR oftalmológico de 0.22, su CDR encontrado mediante el algoritmo propuesto es de 0.23 lo que nos da un margen de error de 4.54%.

Ecuación 4:

$$E_a = \bar{X} - X_i$$

$$E_a = 0.22 - 0.23$$

$$E_a = -0.01$$

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$E_r = \frac{-0.01}{0.22} \times 100$$

$$E_r = -4.54\%$$

Y para el ultimo paciente con diagnóstico de glaucoma, su CDR oftalmológico es de 0.53 y un CDR encontrado por el algoritmo propuesto de 0.54 da un margen de error de 1.88%.

$$E_a = \bar{X} - X_i$$

$$E_a = 0.53 - 0.54$$

$$E_a = -0.01$$

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$E_r = \frac{-0.01}{0.53} \times 100$$

$$E_r = -1.88\%$$

Esto hace referencia que el algoritmo propuesto tiene en su totalidad un margen de error de 3.3%.

En la figura 3.1 se observa una comparación de forma gráfica de los valores del CDR de la tabla 3.2, en la que se observa que no varían significativamente los resultados obtenidos con el algoritmo propuesto a comparación del valor clínico.

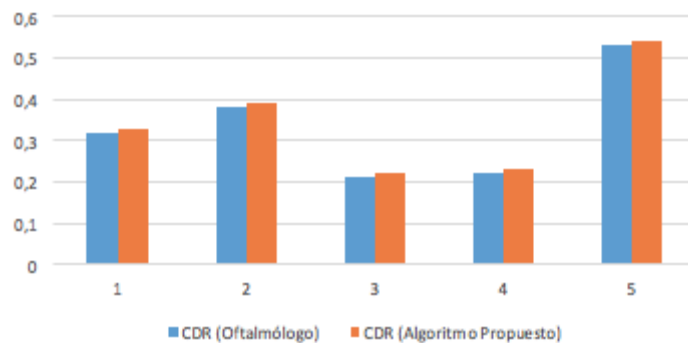


Figura 3. 1: Comparación del CDR calculado con el CDR Clínico

En las siguientes figuras 3.2 se observa una imagen de fondo de ojo de una persona con glaucoma, la misma que mediante el algoritmo detecta automáticamente la copa del fondo de ojo.

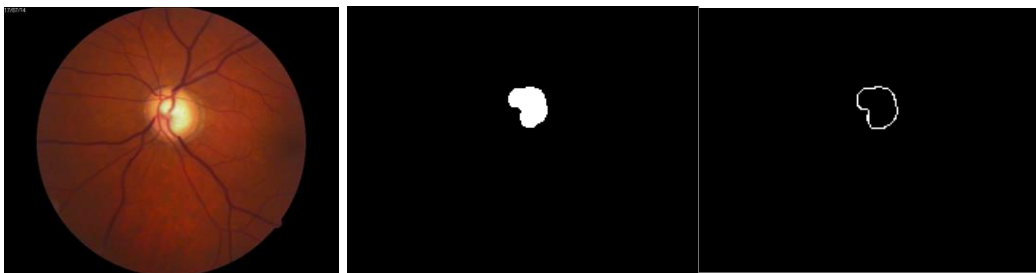


Figura 3. 2: Imágenes de Fondo de Ojo con Glaucoma con detección automática de la copa

Fuente: Los autores

En la siguiente figura 3.3 se observa una imagen de fondo de ojo de una persona que no tiene Glaucoma, en la que la copa es detectada de forma automática por el software.

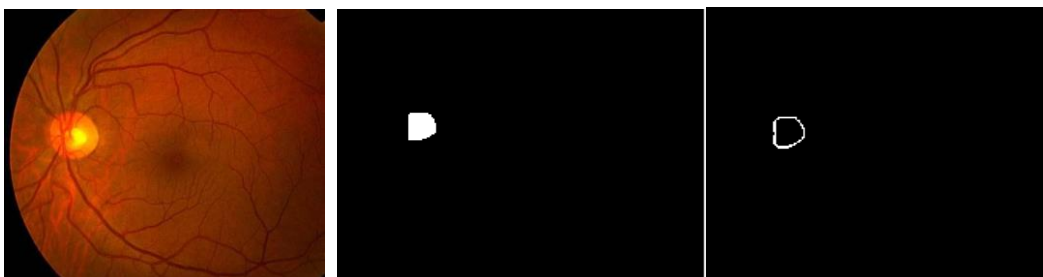


Figura 3. 3: Imágenes de Fondo de Ojo Sano con detección automática de la copa

Fuente: Los autores

En las figuras 3.2 y 3.3 se puede observar como el tamaño de la copa varía en el caso de la imagen de fondo de ojo de la figura 3.3 ésta excavación es menor que la excavación de la figura 3.2.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según el análisis de los datos estadísticos realizado en el capítulo 1, se observa que el número de personas con Diagnóstico de Glaucoma afecta a todos los grupos de edades, con un mayor porcentaje en las personas de 54 años en adelante, estos datos indica la importancia de atender éste problema social.

El glaucoma es una de las enfermedades más peligrosas, ya que al ser silenciosa y no mostrar ninguna clase de síntomas esta puede avanzar lentamente hasta causar ceguera, es por eso que las personas que noten alguna dificultad en la visión deberían realizarse los diferentes exámenes para determinar cuál es el problema y al ser diagnosticado de la misma, proceder a realizar el tratamiento adecuado.

Uno de los problemas con esta enfermedad es la parte económica, debido a que el tratamiento tiende a ser muy costoso y no todas las clínicas tienen acceso a los equipos que existen a nivel mundial en oftalmología y Glaucoma. Es por eso que se ha visto conveniente la realización de este proyecto, ya que sería de gran ayuda para hospitales que carecen de equipamiento adecuado para los respectivos exámenes oftalmológicos.

En el presente proyecto se ha desarrollado un algoritmo para la identificación del Glaucoma. El mismo que mediante una base de datos de imágenes de fondo de ojo extrae dos características importantes para la detección del mismo, como son la relación de áreas de la copa y el disco.

Esta relación forma un anillo neuroretiniano en el que mediante la regla ISNT se mide el ancho del mismo, siendo este un dato importante a analizar para la identificación de Glaucoma.

Para el análisis del Glaucoma no es necesario sólo la relación copa- disco, debido a que la característica más importante al momento de análisis de una imagen de fondo de ojo es el anillo neuroretiniano, en el caso de que exista una emergencia vascular central, y el anillo neuroretiniano tenga un buen color, si la regla ISNT se cumple no es importante la excavación del ojo.

La regla ISNT es la relación del anillo neuroretiniano en donde, el reborde inferior es más grueso que el superior, y el nasal es más grueso que el temporal, lo que representa un valor significativo para la identificación de ésta patología.

El algoritmo implementado en éste proyecto ofrece buenos resultados, con la utilización de la base de datos de imágenes de fondo de ojo adquiridas en la clínica “Santa Lucía”. Se ha obtenido valores con el algoritmo propuesto para la relación copa- disco y se ha realizado una comparación con los datos clínicos de las imágenes médicas de 5 pacientes, en la que se observa que el software tiene un margen de error de 3.3%.

TRABAJOS FUTUROS

En el Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnologías de Asistencia, GI-IATa, se ha planificado continuar con la investigación sobre el glaucoma, sus causas, efectos y detección, ello de manera conjunta con la parte médica que guía y avala la investigación.

Han sido desarrollados ya dos proyectos de investigación sobre el glaucoma, que han centrado su estudio en dos tipos distintos de glaucoma, se desea continuar el desarrollo de los proyectos con software libre y aprovechar la ventaja de contar con minicomputadoras que cuentan con procesadores poderosos.

Como se cuenta con los resultados obtenidos de las investigaciones, se pretende comparar resultados de ambas investigaciones, con los resultados que serán desarrollados en software libre y en minicomputadoras.

Lo más importante es continuar con el procesamiento digital de imágenes específicamente del fondo de ojo debido a que es allí donde se puede apreciar las características de la copa y el disco, para poder determinar el estado del nervio óptico y con ello poder diagnosticar si el paciente padece de glaucoma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Celi, A. Domínguez. (2014). Incidencia de la Inserción Laboral en la calidad de vida de las personas con Capacidades Especiales que Laboran en el Sector Empresarial del Norte de la Ciudad de Guayaquil. Universidad Politécnica Salesiana.
- [2] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-de-camas-y-egresos-hospitalarios-bases-de-datos/>
- [3] R. Álvarez, S. Torres. (2015). Simulación y Modelamiento del ojo Humano como Herramienta para la prevención del glaucoma a través la medición de la presión intraocular. Universidad Politécnica Salesiana.
- [4] N. Garijo, M. Pérez, B. Calvo. (2010). Simulación de la queratoplastia y del proceso de cicatrización de heridas en la córnea. Departamento de Ingeniería Mecánica. Centro Politécnico Superior Universidad de Zaragoza.
- [5] B. Rodrigo. (2014). Detección de glaucoma mediante el análisis de imagen de fondo de ojo. Instituto Interuniversitario de Investigación en Bioingeniería Orientada al Ser Humano (I3BH). Universidad Politécnica de Valencia.
- [6] J. Jiménez. (2012). Contribución al análisis de registros de electrorretinografía multifocal para detección precoz de Glaucoma. Universidad de Alcalá.
- [7] H. Ahmad, A. Yamin , A. Shakeel, S. Omer, U. Ansari. 2014. Detection of Glaucoma using retinal fundus Images. International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE) Islamabad, Pakistan.
- [8] Dr. C. Chacón, Dra. A. Nuñez. 2016. Clínica Oftalmológica “Santa Lucía”
- [9] Página oficial de IMO: Instituto de Microcirugía Ocular. Disponible en: <http://www.imo.es/patologia/glaucoma/>.
- [10] N. Adalberto. (2011). Desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas para el tratamiento del glaucoma. Facultad de Ciencias exactas y naturales. Universidad de Buenos Aires.

[11] U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, "El Glaucoma", National Institutes of Health, National Eye Institute, NIH Publication No: 03-6515

[13] Khan, Ubaid Ullah Yasin, Usman Qamar. Detection of Glaucoma using Retinal Fundus Images. BMEICON – 2013.

[14] Crear una HMI en Matlab. Disponible en : https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB_GUIDE.pdf

[15] Chilh–Yin Ho, Tun-Wen Pai, Hao- Teng. 2011. An automatic fundus image analysis system for clinical diagnosis of Glaucoma. International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems.

[16] R. ManjulaSri, Ch. Madhubabu. KMM.Rao. 2013. Labview based assessment of CDR for detection of Glaucoma. IEEE International Conference on Emerging Trends in Computing and Nanotechnology (ICECCN).

[19] S. Kavitha, S. Kaethikeyan, Dr.K.Duraiswamy. 2010. Early Detection of Glaucoma in Retinal Images Using Cup to Disc Ratio. Second International conference on Computing, Communication and Networking Technologies.

[20] D. Lamani, T C Manjnath, Ramegowda. 2014. Fractal dimension with object rotation: A case study with Glaucoma Eye. Fifth International Conference on Signal and Image Processing.