

II. MATERIALES Y MÉTODOS

1.EL TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El tratamiento ó procesamiento digital de imágenes (DIP), permite el mejoramiento de una imagen digital con el objetivo de poder interpretar y a continuación tomar decisiones de manera automática [15].

El desarrollo de estas técnicas ha adquirido un papel fundamental en diversas áreas. Como ejemplo, en medicina cada vez se usan más las imágenes para realizar los diagnósticos, lo que permite adaptar los tratamientos adecuados. Pero, no siempre es fácil sacar información directamente de las imágenes tomadas, por ello es necesario un tratamiento previo que permite simplificar y facilitar la interpretación y sacar gran número de información escondida [4].

En la actualidad existen muchos “Softwares” que permiten el procesamiento digital de imágenes, utilizando algoritmos y varias técnicas de optimización muy sofisticadas. En este trabajo se ha utilizado el “Matlab” para desarrollar los algoritmos de detección del glaucoma.

Mediante estas operaciones se logra una mejoría de la imagen, por aumento de contraste y reducción del ruido, operaciones morfológicas (erosión, dilatación, cierre y apertura) y la segmentación de la imagen (reconocer y extraer cada uno de los objetos presentes en la imagen).

1.1 Operaciones morfológicas

Las operaciones morfológicas son de gran importancia en los procesos de tratamientos digitales de imágenes. Se trata de un conjunto de operaciones matemáticas que se basan sobre la geometría y la forma. Estos tratamientos tienen por objetivo la extracción de estructuras geométricas de las imágenes de entrada mediante el uso de otras estructuras de forma conocida llamados elementos estructurantes (EE), como un disco o un cuadrado, y como

resultado forman una nueva imagen. Esta imagen creada, llamada imagen de salida, es de igual tamaño que la de entrada, esto es posible gracias a la aplicación de elementos estructurantes de tamaños adecuados a la imagen de entrada. A continuación, se detallan distintas operaciones morfológicas que incluyen la dilatación, la erosión y la apertura y cierre [16].

1.1.1 Elementos estructurantes

El elemento estructurante (EE) permite examinar la estructura y la forma de la imagen de entrada, esto es posible, mediante la elección de una forma y un tamaño preciso del EE. Este último, funciona como una máscara que puede tener distintas formas y tamaños (Disco, cuadrado, rectángulo...). En este trabajo, hemos usado un disco como elemento estructurante que se aplicó a las imágenes de fondo de ojo.

Aplicar el elemento estructurante sobre la imagen, consiste en posicionar el centro de este EE sobre cada pixel que forma la imagen y a continuación se aplica la operación morfológica elegida en toda el área comprendida bajo el elemento estructurante [17] (Figura 15).



Figura 15. Elemento estructurante en forma de círculo. De izquierda a derecha se ve como el EE aplicado sobre la imagen original encaja o no en ella [16].

1.1.2 La erosión y la dilatación

La erosión y la dilatación son dos operaciones morfológicas muy similares, sólo que una se aplica al objeto mientras la otra es sobre el fondo, por ello, se considera que tienen una relación de dualidad. La dilatación produce una expansión de la imagen mientras que la erosión la reduce.

Si consideramos el objeto (A) de la imagen de entrada y el elemento estructurante (B), la imagen de salida es el conjunto de puntos del objeto A barridos por el centro de B [17] (Figura 16).

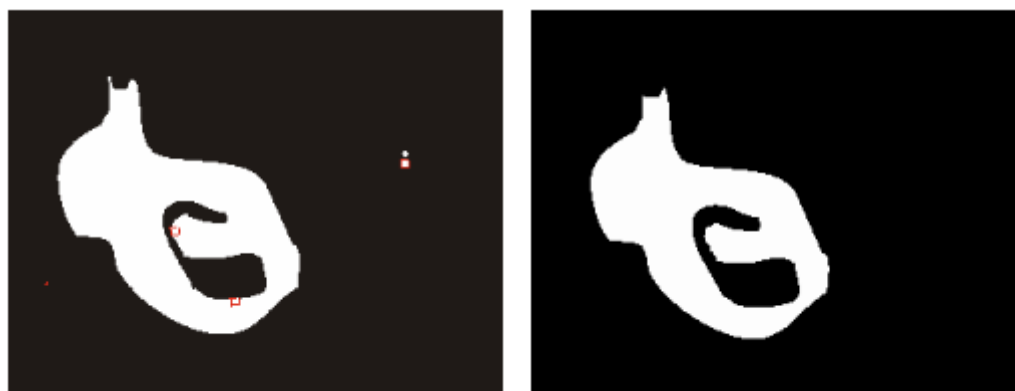


Figura 16. La erosión. Ejemplo de la aplicación de un EE en forma de cuadrado para la erosión que resulta en una imagen de salida más reducida [16].

En la dilatación, cuando B cae en la frontera del objeto A se le añade todos los píxeles del fondo que se encuentran bajo el área del elemento estructurante B. Entonces el objeto de la imagen de salida de una dilatación es más grande que el de la imagen A (Figura 17).

$$A \oplus B = \{x \mid B_x \cap A \neq \emptyset\}$$

En cambio, en la erosión se eliminan todos los píxeles que se encuentran bajo el área de B cuando este último está en la frontera. Por lo tanto, el objeto de la imagen resultante de una erosión aparece más reducido que el objeto de la imagen original [16].

$$A \ominus B = \{x \mid B_x \subseteq A\}$$

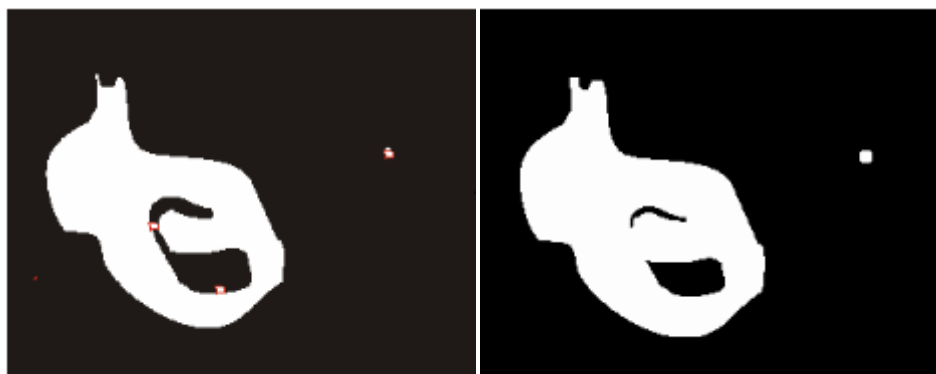


Figura 17. La dilatación. Ejemplo de la aplicación de un EE en forma de cuadrado para la dilatación que resulta en una imagen de salida más amplia [16].

Estas dos operaciones suelen aplicarse una tras otra, para al final conseguir la eliminación de pequeños detalles siempre que no se provoque una distorsión de la imagen.

1.1.3 La apertura y el cierre

La apertura morfológica se define como la erosión seguida por la dilatación. Esto resulta, en un alisamiento de los contornos, redondeando las esquinas donde no cabe el elemento estructurante y separando los objetos en puntos estrechos por donde no puede pasar el EE (Figura 18).

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$



Figura 18. La apertura. Varias imágenes resultantes de la aplicación de distintos tipos de EE (Círculo de tamaño 7, vertical de tamaño 11 y cuadrado de tamaño 11) sobre la imagen original en el caso de una apertura [16].

Al contrario, un cierre morfológico es una dilatación seguida por una erosión. Aquí, el resultado es un alisamiento de porciones del contorno fusionando estrechas grietas y rellenando vacíos y agujeros pequeños en el contorno [16] (Figura 19).

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

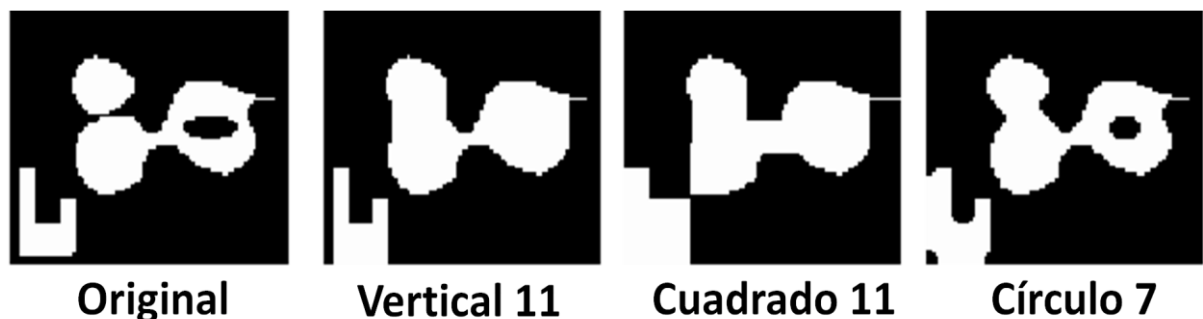


Figura 19. El cierre. Varias imágenes resultantes de la aplicación de distintos tipos de EE (vertical de tamaño 11, cuadrado de tamaño 11 y Círculo de tamaño 7) sobre la imagen original en el caso de un cierre [16].

1.2 La segmentación de imágenes

El principal objetivo de la segmentación de la imagen por umbralización es resaltar o extraer los objetos de interés del fondo. Por ello, se establece un nivel de umbral que permite la conversión de las imágenes de escala de grises a un formato binario donde, el blanco tiene valor 1 y el negro 0. En la figura 20, se muestra la imagen binaria resultante de una segmentación sobre la imagen original en escala de grises [18].

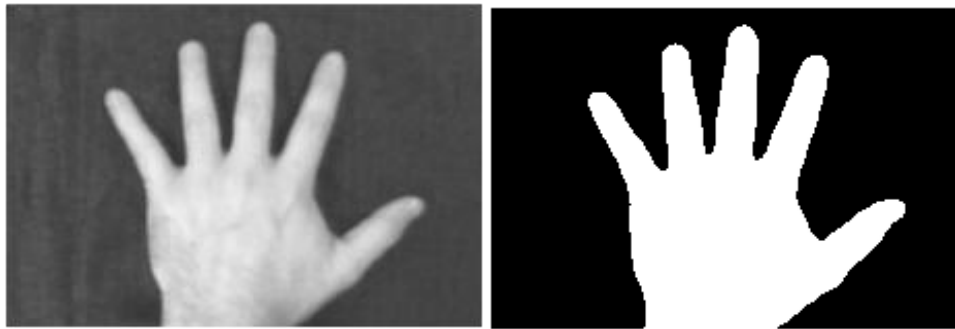


Figura 20. La umbralización. La conversión de la imagen original a un formato binario hace resaltar el objeto de la imagen [16].

2. LA APLICACIÓN DE ALGORITMOS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL GLAUCOMA EN IMÁGENES DE FONDO DE OJO

En Este trabajo, hemos elegido imágenes en formato JPEG y de resolución 560x720, de varios pacientes tomadas con una cámara de fondo de ojo para el diagnóstico del glaucoma. A continuación, hemos aplicado varias técnicas de tratamiento digital de imágenes para sacar información numérica que nos ha permitido clasificarlas y por último dar el diagnóstico final.

Hemos aplicado tres tipos de algoritmos, la relación entre el área del disco óptico y la copa óptica, la relación entre la distancia del centro del disco óptico y la cabeza del nervio óptico con el diámetro del disco óptico y la relación del área total de los vasos sanguíneos en el lado inferior-superior del disco óptico al área nasal-temporal.

2.1 La relación copa /disco óptico (C / D)

Hemos desarrollado un primer algoritmo que se basa en la medida de la relación entre el área del disco óptico y la copa óptica, y a continuación lo hemos aplicado a las imágenes seleccionadas.

A partir de la imagen original RGB que se muestra en la figura 21, hemos aplicado varias operaciones para su tratamiento con el fin de obtener la relación entre la copa y el disco óptico que se resumen en el diagrama de bloque siguiente.

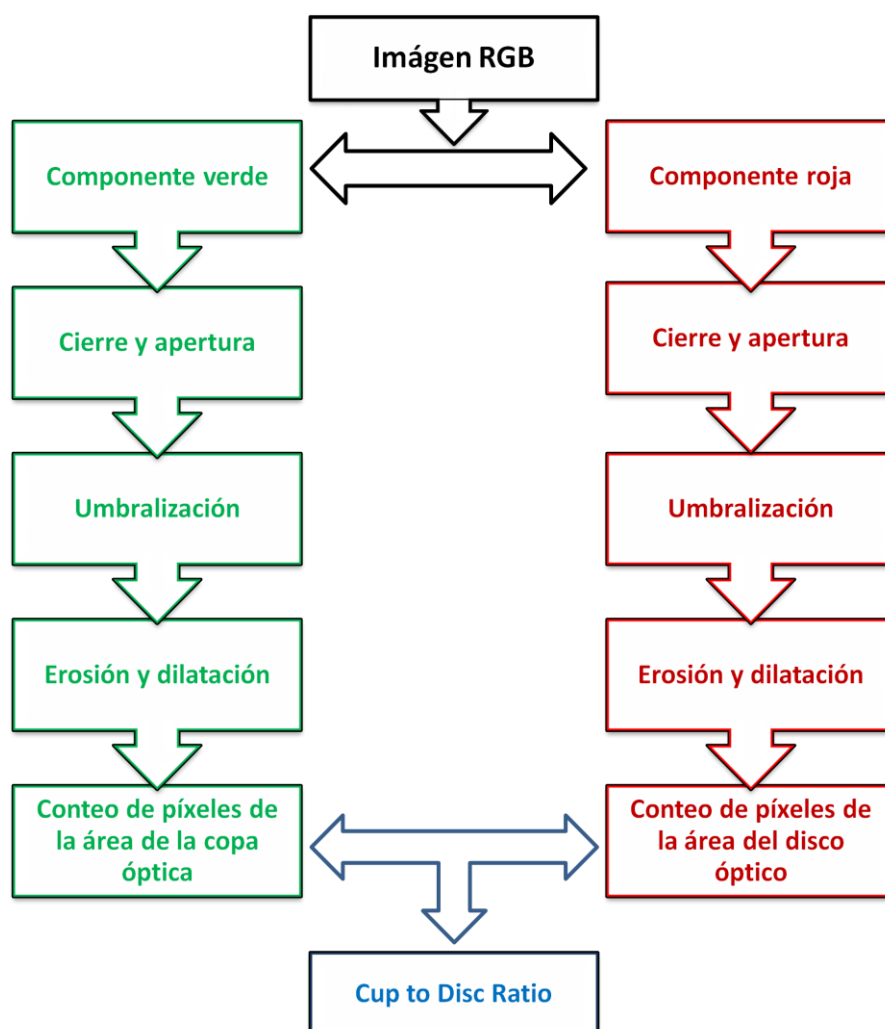


Diagrama de bloque de la relación copa /disco óptico (C / D).



Figura 21. Imagen original RGB.

2.1.1 Extracción de las componentes roja y verde

Hemos extraído la componente roja y la componente verde donde hemos observado que la cabeza del nervio óptico es más fácil de detectar en la componente roja, sin embargo, la copa óptica no se podía distinguir claramente, por ello se ha utilizado la componente verde para identificarla. En la figura 22 se muestra la componente roja y verde de la imagen original.

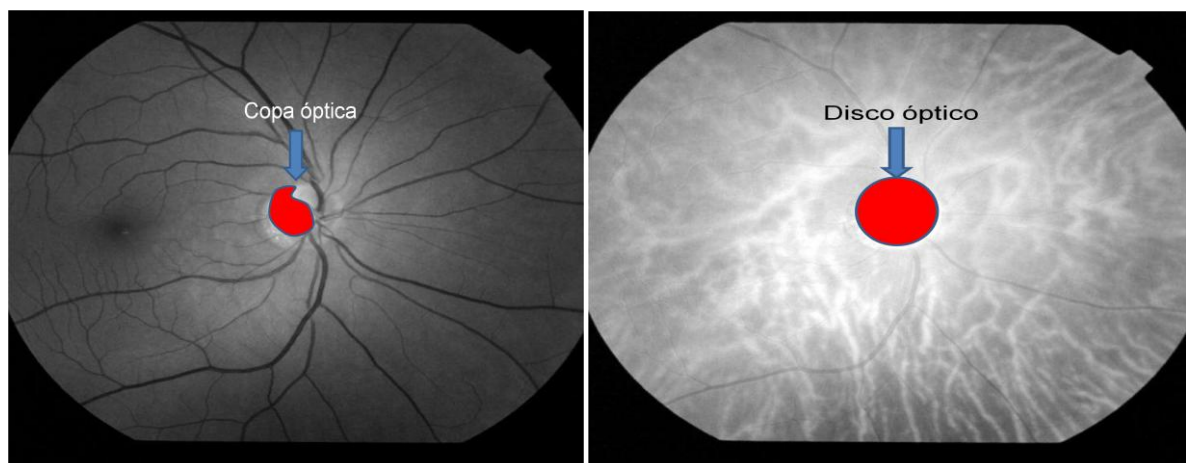


Figura 22. Extracción de la componente verde (izquierda) y la componente roja (derecha) de la imagen original.

2.1.2 Las operaciones morfológicas

La siguiente operación ha sido la eliminación de los vasos sanguíneos de la imagen para visualizar mejor el disco y la copa en cada componente. Esto se ha hecho, aplicando varias operaciones morfológicas de apertura y de cierre sobre las dos componentes verde y roja. Por ello hemos elegido un elemento estructurante en forma de disco y de un tamaño de 15. En la figura siguiente (Figura 23) se muestran las componentes verde y roja después de dicha operaciones.

La erosión nos ha permitido eliminar las regiones de píxeles de primer plano, luego la dilatación ha ampliado gradualmente las regiones del pixel de primer plano. Así, se ha logrado eliminar tanto las manchas brillantes no deseadas como los bordes de la imagen.

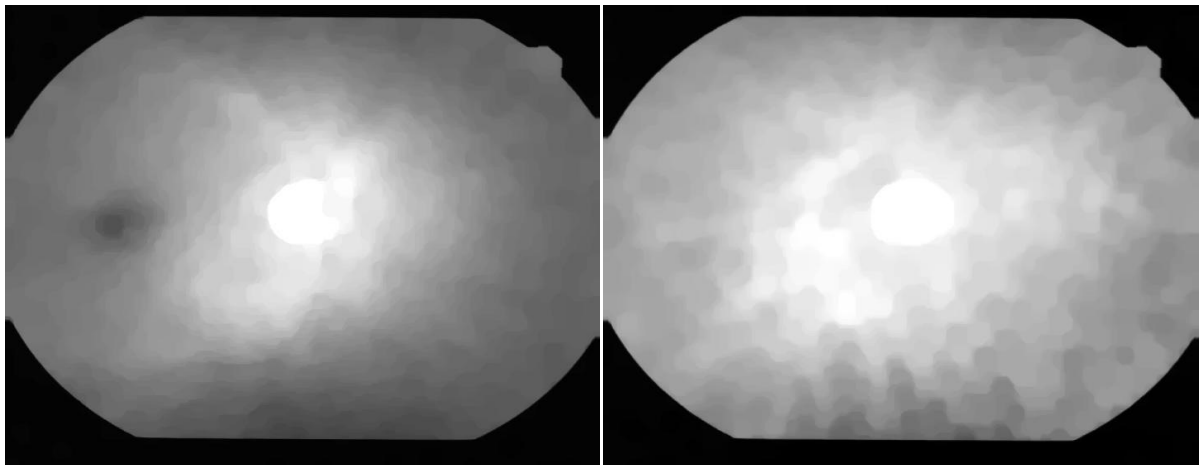


Figura 23. Imágenes resultantes de la aplicación de dos operaciones morfológicas (cierre y apertura). Componente verde (izquierda) la componente roja (derecha).

2.1.3 La segmentación de imágenes por umbralización

Con el objetivo de extraer de las imágenes las zonas de la copa óptica y el disco óptico, un valor de umbral de 0,98 fue utilizado. Esto nos ha permitido convertir nuestras imágenes de componente verde y roja a imágenes binarias. Por ello, un valor de 1 fue asignado al color blanco para la región que contiene el disco óptico y la copa y un valor de 0 (negro) para el fondo, como lo muestra el resultado de la Figura 24.

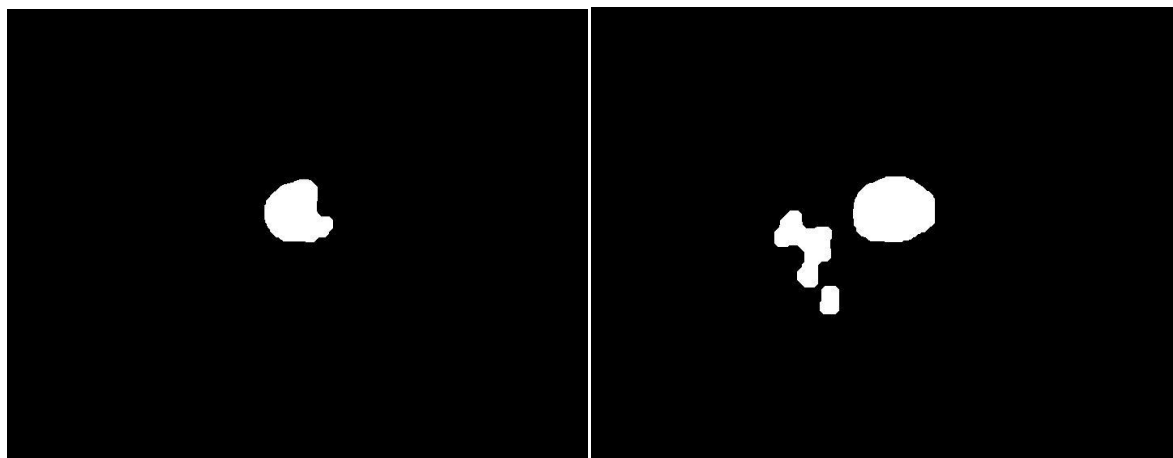


Figura 24. Imágenes resultantes de la umbralización. La componente verde (izquierda) mostrando la copa óptica, mientras la componente roja (derecha) muestra el disco óptico.

Nuevamente, hemos aplicado una serie de operaciones morfológicas, donde una operación de erosión seguida de una dilatación sobre las imágenes binarias permitió suavizar aún más los límites exteriores (Figura 25).

Al final de un tratamiento de imágenes, la aplicación de la operación de cierre ayuda a llenar los vacíos y suavizar los bordes exteriores, mientras que la operación de apertura ayuda a eliminar cualquier pequeña mancha que está presente en la imagen.

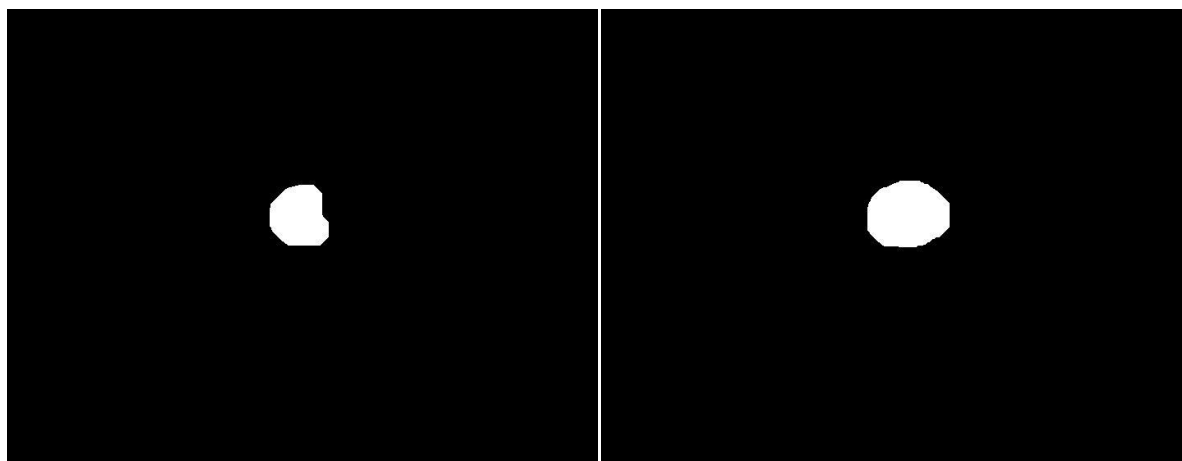


Figura 25. Imágenes resultantes de la erosión y la dilatación. Componente verde (izquierda) mostrando la copa óptica, mientras la componente roja (derecha) muestra el disco óptico.

Para concluir y poder establecer el diagnóstico sobre la existencia o no de un glaucoma en las imágenes, hemos hecho un conteo del número de píxeles blancos que representan la copa óptica y los del disco óptico. La relación entre la copa óptica y el disco óptico se calcula dividiendo el área de la copa óptica por el área del disco óptico. Se considera un ojo con glaucoma cuando el valor de esta relación es mayor que en el caso de un ojo normal.

2.1.4 El código de Matlab para la relación C/D

En este apartado, se presenta el código desarrollado en Matlab, con el cual se aplicaron todas las operaciones detalladas anteriormente en el diagrama de arriba.

```

Clc
clear all
close all
%=====
===== %
figure
Imagen_normal = imread('1.jpg');
Imagen_glaucoma = imread('2.jpg');
Imagen1 = imresize(Imagen_normal,[560 720]);
Imagen2 = imresize(Imagen_glaucoma,[560 720]);
% Componente roja normal

```

```

Rojo1 = Imagen1(:,:,1);
% Componente roja glaucoma
Rojo2 = Imagen2(:,:,1);
% Componente verde normal
Verde1 = Imagen1(:,:,2);
% Componente verde glaucoma
Verde2 = Imagen2(:,:,2);
% Ajuste de intensidad
Verde3 = imadjust(Verde1);
Verde4 = imadjust(Verde2);
Rojo111 = imadjust(Rojo1);
Rojo222 = imadjust(Rojo2);

%=====
===== %
%Elemento estructuranta tamaño 15
Estructura = strel('disk',10);

% Operaciones morfológicas
% Cerradura
% Normal
Rojo3 = imclose(Rojo111,Estructura);
Verde5 = imclose(Verde3,Estructura);
% Glaucoma
Rojo4 = imclose(Rojo222,Estructura);
Verde6 = imclose(Verde4,Estructura);
% Apertura
% Normal
Rojo5 = imopen(Rojo3,Estructura);
Verde7 = imopen(Verde5,Estructura);
% Glaucoma
Rojo6 = imopen(Rojo4,Estructura);
Verde8 = imopen(Verde6,Estructura);
Rojo6 = imadjust(Rojo6);
%=====
===== %
% Umbralización
% Normal
th=0.98;
Rojo7 = im2bw(Rojo5,th);
th = 1;
Verde9 = im2bw(Verde7,th);
th=0.98;
Rojo8 = im2bw(Rojo6,th);
th = 1;
Verde10 = im2bw(Verde8,th);
%=====
===== %
%Elemento estructurante tamaño 20
Estructura2=strel('disk',20);
% Morphological opening
% Erosion
Rojo9 = imerode(Rojo7,Estructura2);
Verde11 = imerode(Verde9,Estructura2);
Rojo10 = imerode(Rojo8,Estructura2);
Verde12 = imerode(Verde10,Estructura2);

```

```

% Dilatacion
Rojo11 = imdilate(Rojo9,Estructura2);
Rojo12 = imdilate(Rojo10,Estructura2);
%Elemento estructural tamaño 10
Estructura2=strel('disk',10);
Verde13 = imdilate(Verde11,Estructura2);
Verde14 = imdilate(Verde12,Estructura2);
%=====
===== %
% Componente roja
subplot(3,2,1),imshow(Imagen1),title('Imagen normal')
subplot(3,2,2),imshow(Imagen2),title('Imagen glaucoma')
subplot(3,2,3),imshow(Rojo1),title('Componente roja')
subplot(3,2,4),imshow(Rojo2),title('Componente roja')
subplot(3,2,5),imshow(Rojo11),title('Area del disco')
subplot(3,2,6),imshow(Rojo12),title('Area del disco'),figure
% Componente verde
subplot(3,2,1),imshow(Imagen1),title('Imagen normal')
subplot(3,2,2),imshow(Imagen2),title('Imagen glaucoma')
subplot(3,2,3),imshow(Verde1),title('Componente verde')
subplot(3,2,4),imshow(Verde2),title('Componente verde')
subplot(3,2,5),imshow(Verde13),title('Cup Area')
subplot(3,2,6),imshow(Verde14),title('Cup Area')
%=====
===== %
%Contar los pixeles blancos para el disco
RR = Rojo11;
contador = 0;
[fil col] = size(RR);
for i = 1:fil
    for j = 1:col
        if(RR(i,j) ~= 0)
            contador = contador + 1;
        end
    end
end
Area_disco_Normal = contador
%=====
===== %

RR2 = Rojo12;
contador = 0;
[fil col] = size(RR2);
for i = 1:fil
    for j = 1:col
        if(RR2(i,j) ~= 0)
            contador = contador + 1;
        end
    end
end
Area_disco_Glaucoma = contador
%=====
===== %
%Contar los pixeles blancos para la copa
VV = Verde13;
contador = 0;

```

```

[fil col] = size(VV);
for i = 1:fil
    for j = 1:col
        if(VV(i,j) ~= 0)
            contador = contador + 1;
        end
    end
end
Area_copa_Normal = contador
%=====
===== %
VV2 = Verde14;
contador = 0;
[fil col] = size(VV2);
for i = 1:fil
    for j = 1:col
        if(VV2(i,j) ~= 0)
            contador = contador + 1;
        end
    end
end
Area_copa_Glaucoma = contador
%=====
===== %
% Relacion copa al disco
Relacion_Copa_Disco_Normal = imdivide(Area_copa_Normal,Area_disco_Normal)
Relacion_Copa_Disco_Glaucoma = imdivide(Area_copa_Glaucoma,Area_disco_Glaucoma)

```

2.2 La medida de la distancia entre el centro del disco óptico y la cabeza del nervio óptico

El segundo algoritmo consiste en la relación entre dos parámetros, la distancia del centro del disco óptico y la cabeza del nervio óptico con el diámetro del disco óptico. En caso del glaucoma, se identifica un desplazamiento mayor de la cabeza del nervio óptico con respecto al centro del disco óptico debido a una alta presión intraocular.

A partir de la imagen original RGB (Figura 26), hemos aplicado varias operaciones que se resumen en el diagrama de bloque siguiente.

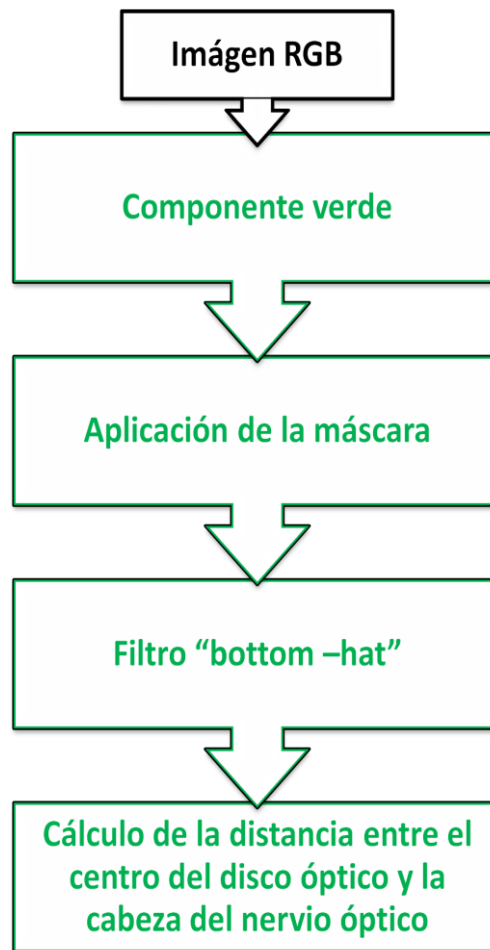


Diagrama de bloque de la medida de la distancia entre el centro del disco óptico y la cabeza del nervio óptico

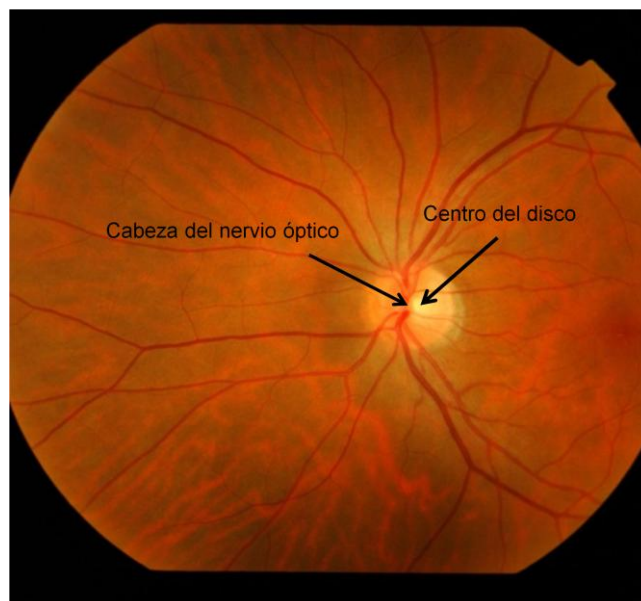


Figura 26. Imagen original RGB.

Después la extracción de la componente roja y la componente verde, se ve que el centro del disco óptico es más fácil de discriminar en la componente verde, donde se identifica como el punto con más intensidad. En cuanto a la cabeza del nervio óptico que también se detecta mejor en esta componente verde, es la zona con más intensidad después de la aplicación de un filtro llamado “bottom-hat” (Figura 27).

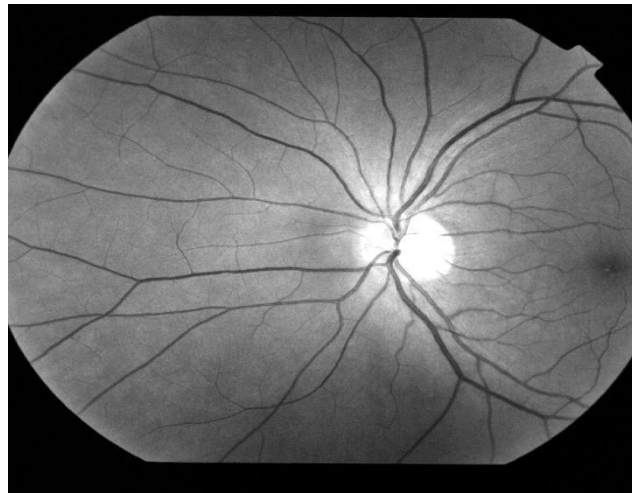


Figura 27. Extracción de la componente de la imagen original.

A la componente verde, hemos aplicado como máscara la imagen binaria del disco óptico previamente sacado. De la imagen resultante, sacamos el centro del disco óptico que es la zona con más intensidad (Figura 28).

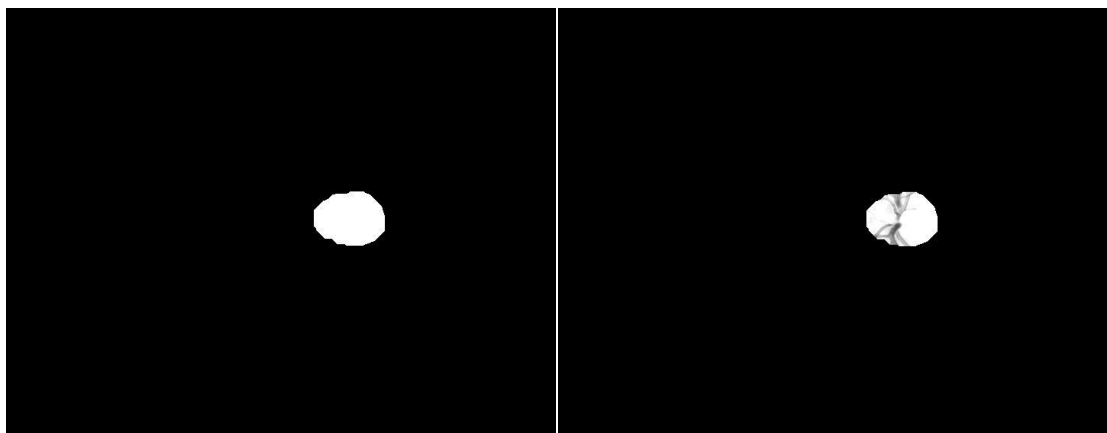


Figura 28. La aplicación de la máscara (izquierda) sobre la componente verde da una imagen resultante (derecha) que muestra el centro del disco óptico.

Para la detección de la cabeza del nervio óptico, hemos aplicado a la componente verde el filtro "bottom-hat" para eliminar el fondo y ya la zona con más intensidad de la imagen resultante es la cabeza del nervio óptico como se muestra en la Figura 29.



Figura 29. La imagen resultante de la aplicación del filtro "bottom-hat" mostrando la cabeza del nervio óptico.

A continuación, hemos calculado la distancia entre el centro del disco óptico y la cabeza del nervio óptico normalizada al diámetro del disco óptico. En el caso del glaucoma, se identifica un desplazamiento mayor de la cabeza del nervio óptico con respecto al centro del disco óptico debido a una alta presión intraocular.

Abajo se detalla el código de Matlab usado en esta operación.

```
Clc
clear all
close all
%=====
===== %
Imagen_glaucoma = imread('1.jpg');
Imagen2 = imresize(Imagen_glaucoma,[560 720]);
% extraemos la componente verde de la imagen
```

```

Verde2 = Imagen2(:,:,2);
Verde4 = imadjust(Verde2);
% Componente roja glaucoma
Rojo2 = Imagen2(:,:,1);
%=====
%===== %
% La mascara
%=====
%===== %
% Elemento estructurante 1
% Elemento estructurante "disc" tamaño 10
Estructura1 = strel('disk',10);
% Operaciones morfológicas
% Cerradura
Rojo6 = imclose(Rojo2,Estructura1);
% apertura
Rojo8 = imopen(Rojo6,Estructura1);
%Umbralizacion para sacar la imagen binaria
th = 0.98;
Rojo10 = im2bw(Rojo8,th);
C4 = imclearborder(Rojo10);
% Elemento estructurante "disc" tamaño 20
Estructura2=strel('disk',20);
Rojo12 = imerode(C4,Estructura2);
Rojo14 = imdilate(Rojo12,Estructura2);
%=====
%===== %
%Aplicamos la mascara sobre la componente verde del disco optico
Verde15=Verde4.*uint8(Rojo14);
%=====
%===== %
%Buscamos la zona con mas intensidad
[x,y]=find(Verde15==max(max(Verde15)));
x1= mean(x)
y1= mean(y)
%=====
%===== %
subplot(3,2,1),imshow(Verde4),title('Componente Verde')
subplot(3,2,2),imshow(Rojo14),title('Mascara')
subplot(3,2,3),imshow(Verde15),title('Componente Verde final')
%=====
%===== %
%Filtramos el fondo la la imagen
Estructura3 = strel('disk',20);
Verde20=imbothat(Verde15,Estructura3);
%=====
%===== %
subplot(3,2,4),imshow(Verde20),title('Imagen sin fondo')
%=====
%===== %
%Buscamos la zona con mas intensidad
[x,y]=find(Verde20==max(max(Verde20)));
x2= mean(x) ;
y2= mean(y) ;
%Calculamos la distancia entre el centro del disco optico y la cabeza del
%nervio optico

```

```

v2=[abs(x2-x1),abs(y2-y1)]
distancia_centro_disco_nervio=norm(v2)
%Relacion distancia entre el disco y el nervio con distancia disco
RR = Rojo14;
contador = 0;
[fil col] = size(RR);
for i = 1:fil
    for j = 1:col
        if(RR(i,j) ~= 0)
            contador = contador + 1;
        end
    end
end
Area = contador
diametro=2*sqrt(Area/3.14)
Relacion_distacias=distancia_centro_disco_nervio/diametro
%=====
===== %
%Umbralizcion para sacar la imagen de los vasos sanguineos
th =0.1 ;
Verde40 = im2bw(Verde20,th);
subplot(3,2,5),imshow(Verde40),title('Binaria')
% Elemento estructural "disc" tamaño 10
Estructura4 = strel('disk',10);
% Cerradura
Verde60 = imclose(Verde40,Estructura4);
% Apertura
Verde80 = imopen(Verde60,Estructura4);
subplot(3,2,6),imshow(Verde80),title('Imagen despues del cierre y la apertura')

```

2.3. La medida de la superficie de los vasos sanguíneos por áreas

En este último apartado, explicamos la tercera operación aplicada y que nos da otros criterios para la detección de la presencia o no del glaucoma. En los pacientes con glaucoma, se nota un hinchamiento de los vasos sanguíneos, por lo tanto, la medida del área de los vasos sanguíneos es de gran utilidad para el diagnóstico.

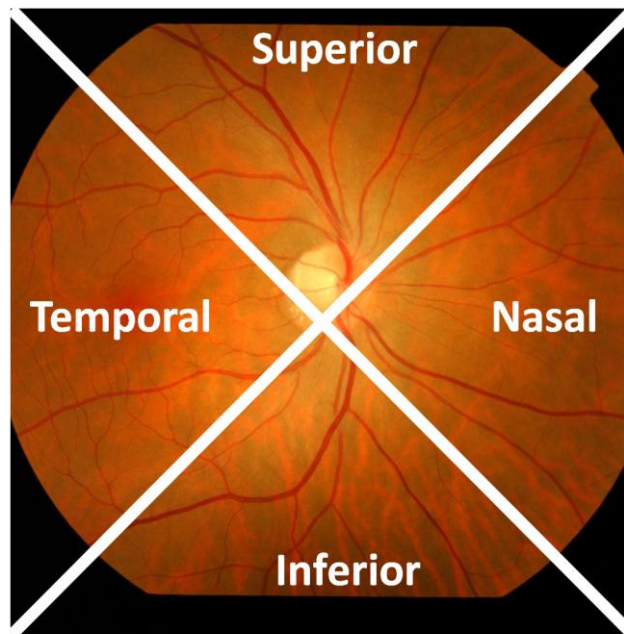


Figura 30. Imagen original RGB mostrando las distintas subdivisiones superior, inferior, temporal y nasal.

Este tercer algoritmo, consiste en la medida de la relación del área total de los vasos sanguíneos en el lado inferior-superior del disco óptico al área nasal- temporal. En el caso de un ojo con glaucoma, se ve un incremento en el área de los vasos sanguíneos en la zona nasal (Figura 30).

A partir de la imagen original RGB que se muestra en la figura 31, hemos aplicado varias operaciones que se resumen en el diagrama de bloque siguiente.

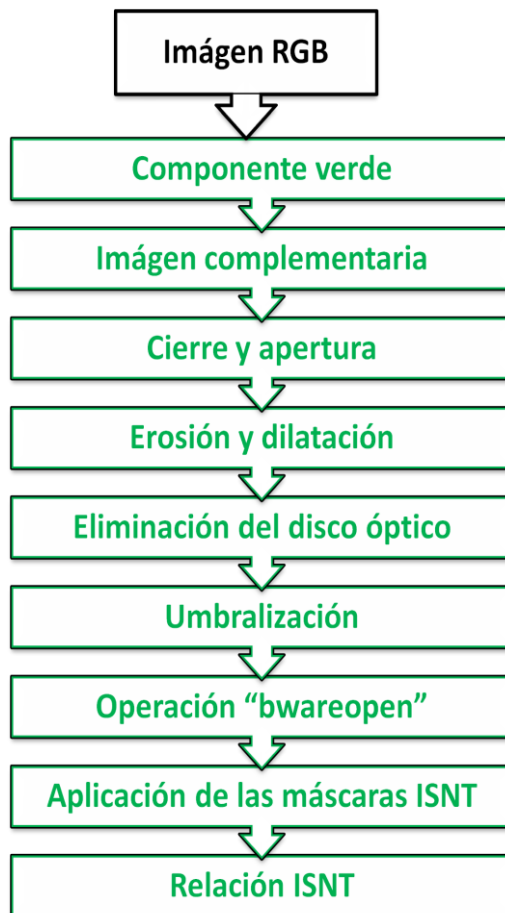


Diagrama de bloque de la relación ISNT



Figura 31. Imagen original RGB.

Después la extracción de la componente roja y la componente verde, se ve que los vasos sanguíneos son más fáciles de discriminar en la componente verde en comparación con la roja (Figura 32).



Figura 32. Extracción de la componente verde de la imagen original.

A continuación, hemos aplicado varias operaciones sobre esta componente verde para aumentar y mejorar la intensidad y el contraste de las imágenes. En primer lugar, hemos sacado la imagen complementaria de la componente verde. En este paso, se resta de cada píxel el valor de intensidad máximo, y esta diferencia se utiliza como el valor de píxel de la imagen de salida. El resultado es una imagen invertida donde las zonas oscuras se convierten en zonas claras y viceversa (Figura 33).

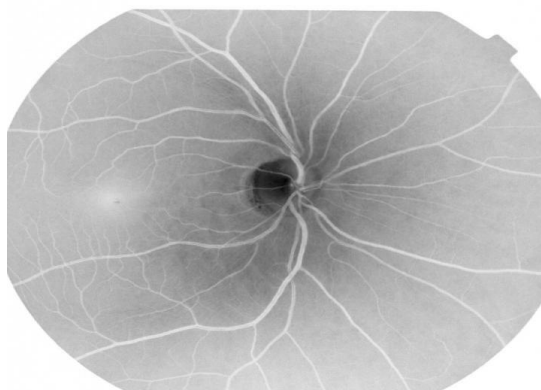


Figura 33. Imagen complementaria de la componente verde.

En el siguiente paso, hemos elegido un elemento estructurante en forma de disco y de tamaño 10 para la aplicación de las operaciones morfológicas. Primero, hemos hecho un cierre seguido por una apertura y erosión y por último una dilatación, la Figura 34 muestra la imagen sometida a estas operaciones morfológicas.

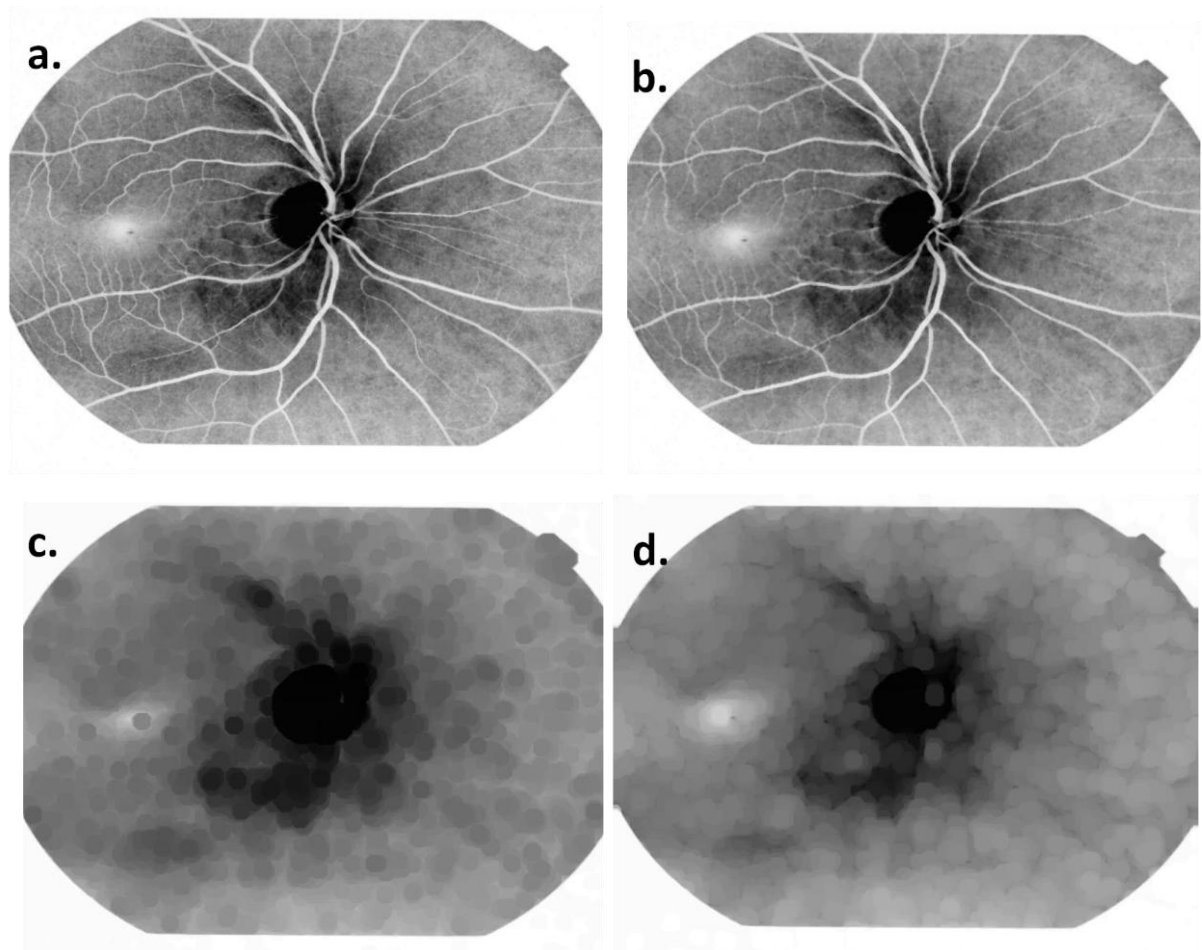


Figura 34. Imágenes resultantes de las operaciones morfológicas, cierre (a), apertura (b), erosión (c) y la dilatación (d).

La siguiente etapa fue la eliminación del disco, como se ve representado en la figura siguiente (Figura 35).



Figura 35. La eliminación del disco óptico.

A continuación, hemos aplicado un umbral de un valor de 0,10 a un formato binario, una operación llamada "bwareopen", fue utilizada para eliminar pequeñas áreas consideradas artefactos no deseados de la imagen, figura 36.

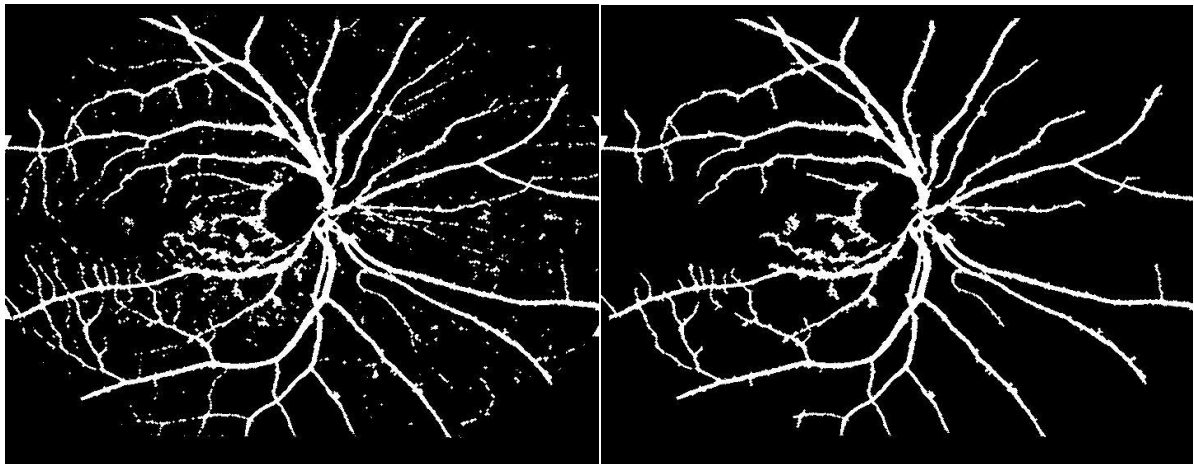


Figura 36. La umbralización (izquierda) seguida por la eliminación de pequeñas áreas no deseadas (derecha).

La siguiente figura 37, muestra la máscara que hemos creado para la identificación de las regiones inferior, superior, nasal y temporal, esta máscara tiene un tamaño de 720 x 560.

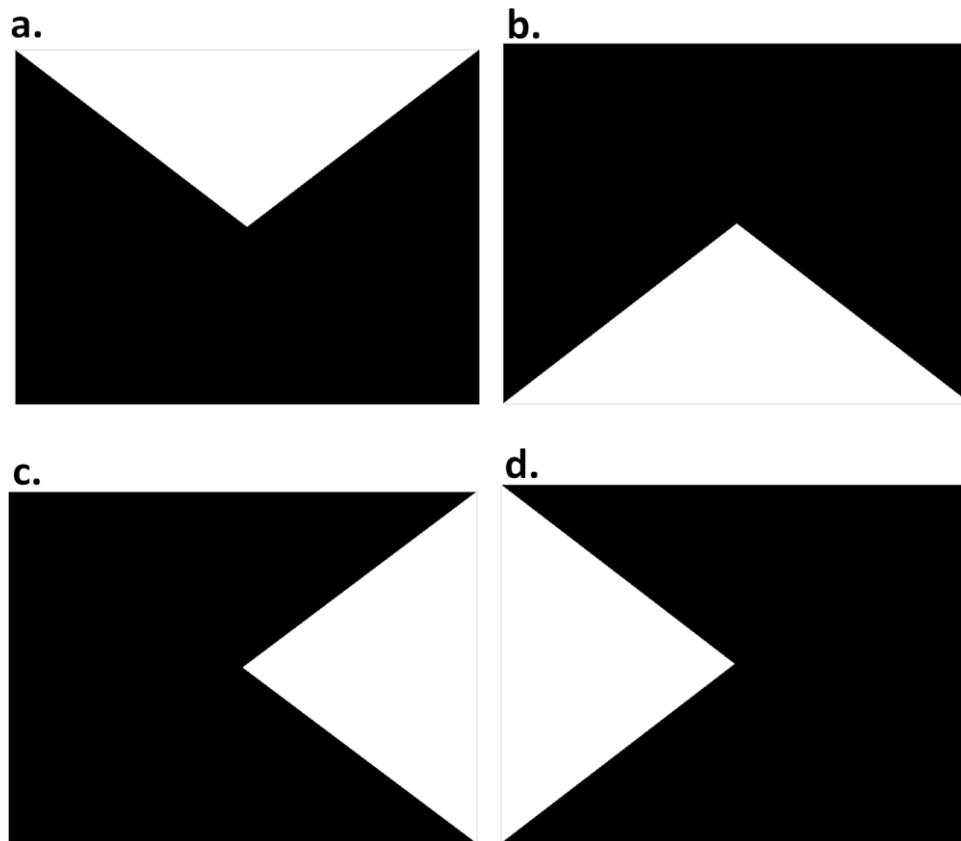


Figura 37. Máscara superior (a), inferior (b), nasal (c) y temporal (d).

En el siguiente paso, hemos aplicado esta máscara a las imágenes de los vasos sanguíneos previamente tratadas con el fin de segmentarlas en las distintas regiones, inferior, superior, nasal y temporal (Figura 38).

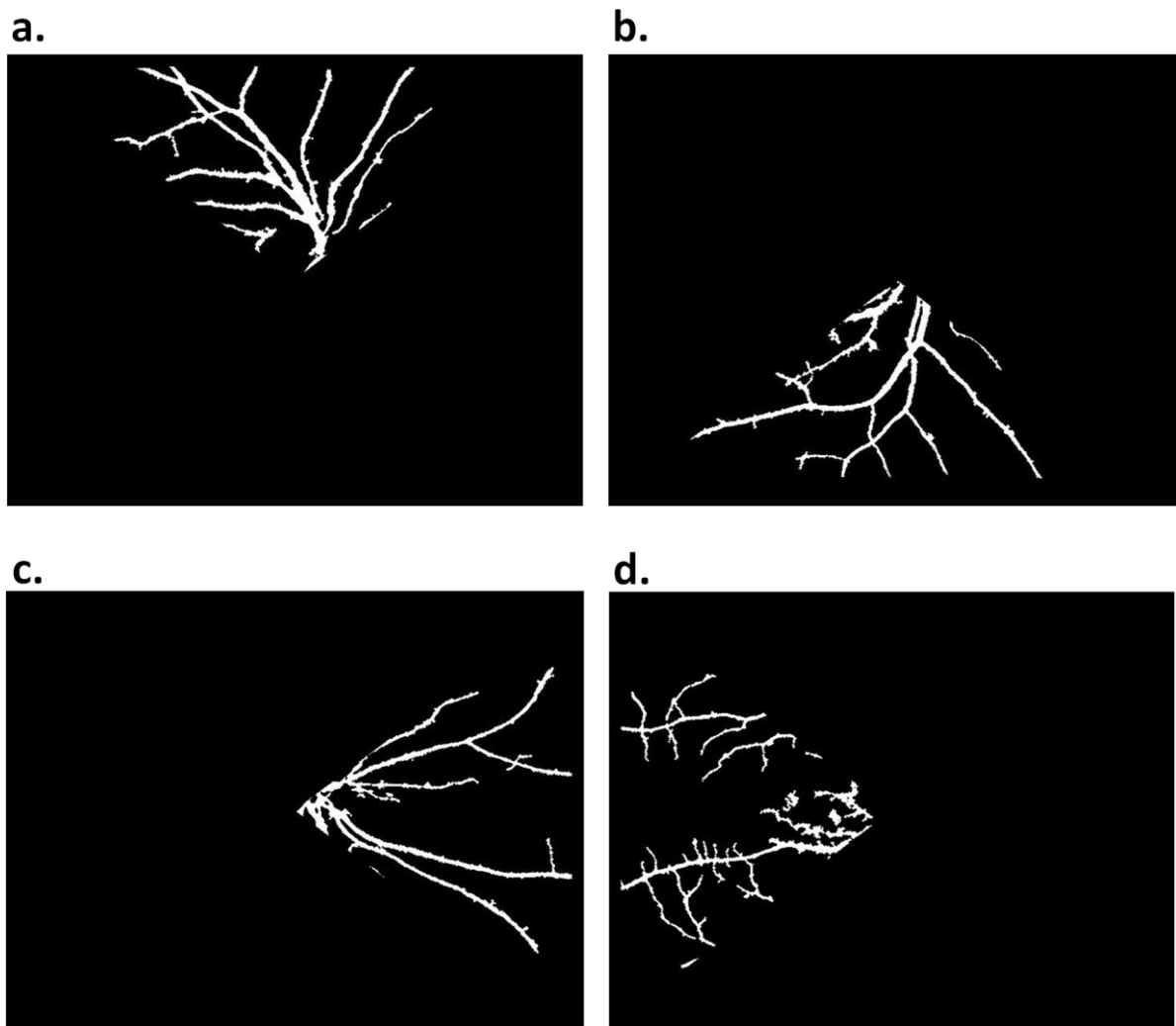


Figura 38. Imágenes resultantes de la aplicación de la máscara superior (a), inferior (b), nasal (c) y temporal (d).

A continuación, hemos hecho calculado el área de cada zona contando los pixeles blancos. Luego, hemos sacado la relación entre el lado inferior-superior del disco óptico al área nasal- temporal. En el caso del glaucoma, hay un incremento en el área de los vasos sanguíneos en la zona nasal y una disminución en la zona superior- inferior.

El código de Matlab utilizado para realizar todas estas operaciones es detallado a continuación.

```
Clc
clear all
close all
%La relación ISNT
%=====
===== %
% Procesamiento de la imagen
Imagen = imread('1.jpg');
Imagen2 = imresize(Imagen, [560 720]);
% Componente Verde
Verde = Imagen2(:, :, 2);
Verde2 = imcomplement(Verde);
% Ajuste de intensidad
Verdea=imadjust(Verde2);
Verde3 = adapthisteq(Verdea);
%=====
===== %
% Elemento estructurante
Estructural = [0 1 0;1 1 1;0 1 0];
% Cerradura
Verdec = imclose(Verde3,Estructural);
% Apertura
Verdeo = imopen(Verdec,Estructural);
% Elemento estructurante de tamaño 10
Estructura = strel('disk',10);
% Erosion
Verdee = imerode(Verdeo,Estructura);
% Dilatacion
Verded = imdilate(Verdee,Estructura);
% Eliminamos el disco óptico
Verde4 = Verdeo - Verded;
% Umbralización
Verde5 = im2bw(Verde4, 0.10);
% Eliminamos las pequeñas áreas
Verde6 = bwareaopen(Verde5,130);
%=====
===== %
% Mascara
x=[0 360 720];
y=[560 280 560];
% Inferior
Inferior=poly2mask(x,y,560,720);
x=[0 360 720];
y=[0 280 0];
% Superior
Superior=poly2mask(x,y,560,720);
```

```

x=[360 720 720];
y=[280 0 560];
% Nasal
Nasal=poly2mask(x,y,560,720);
x=[0 360 0];
y=[0 280 560];
% Temporal
Temporal=poly2mask(x,y,560,720);
subplot(2,2,1),imshow(Inferior),title('Mascara Inferior')
subplot(2,2,2),imshow(Superior),title('Mascara Superior')
subplot(2,2,3),imshow(Nasal),title('Mascara Nasal')
subplot(2,2,4),imshow(Temporal),title('Mascara Temporal'),
figure
% Aplicamos la mascara sobre la imagen
x=[15 360 705];
y=[545 280 545];
Mascara1=~poly2mask(x,y,560,720);
% Inferior
P1=imsubtract(Verde6,Mascara1);
x=[15 360 705];
y=[15 280 15];
Mascara2=~poly2mask(x,y,560,720);
% Superior
P2=imsubtract(Verde6,Mascara2);
x=[360 705 705];
y=[280 15 545];
Mascara3=~poly2mask(x,y,560,720);
% Nasal
P3=imsubtract(Verde6,Mascara3);
x=[15 360 15];
y=[15 280 545];
Mascara4=~poly2mask(x,y,560,720);
% Temporal
P4=imsubtract(Verde6,Mascara4);
subplot(2,2,1),imshow(P1),title('Inferior')
subplot(2,2,2),imshow(P2),title('Superior')
subplot(2,2,3),imshow(P3),title('Nasal')
subplot(2,2,4),imshow(P4),title('Temporal')

%=====
%=====

% Contamos los pixeles blancos para cada zona
% Inferior
i = P1;
Contador=0;
[row col] = size(i);
for xx = 1:row
    for yy = 1:col

```

```

        if(i(xx,yy) ~=0)
            Contador = Contador + 1;
        end
    end
end
Inferior = Contador

% Superior
s = P2;
Contador=0;
[row col] = size(s);
for xx = 1:row
    for yy = 1:col
        if(s(xx,yy) ~=0)
            Contador = Contador + 1;
        end
    end
end
Superior = Contador
% Nasal
n = P3;
Contador=0;
[row col] = size(n);
for xx = 1:row
    for yy = 1:col
        if(n(xx,yy) ~=0)
            Contador = Contador + 1;
        end
    end
end
Nasal = Contador
% Temporal
t = P4;
Contador=0;
[row col] = size(t);
for xx = 1:row
    for yy = 1:col
        if(t(xx,yy) ~=0)
            Contador = Contador + 1;
        end
    end
end
Temporal = Contador
suma_nasal_temporal = Temporal + Nasal
suma_inferior_superior = Superior + Inferior
cociente=(suma_inferior_superior)/(suma_nasal_temporal)
figure
imshow(Verde6)

```