

Identificación Automática de Anormalidades en Imágenes Retinianas.

Hipp Méndez, Jeffrey René, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, jefreyhipp@gmail.com
Manjarres C., Christian David, Universidad de Santo Tomás de Aquino, Colombia, manjarrez8520@gmail.-
com
Aviña Cervantes, Juan Gabriel, Universidad de Guanajuato, México, avina@ugto.com

Resumen

En este artículo presenta un estudio que tiene el objeto de identificar los exudados fuertes que pueden ocurrir en la retina causados por la retinopatía diabética. En la primera etapa se oculta el disco óptico de la retina, con el fin de evitar obtener falsos positivos. Para ello, la identificación del disco óptico se realiza mediante la correlación de histogramas. Además, la identificación de los exudados fuertes se realiza mediante técnicas de procesamiento de imágenes, como filtrado en el dominio espacial, detección de bordes, procesamiento de dinámico de colores y segmentación. Para la elaboración de este artículo se utilizó la base de datos DIARETDB1, con una cantidad de 89 imágenes retinianas. Como validación se usaron imágenes de prueba para poder mostrar los resultados del algoritmo propuesto.

I. Introducción

La diabetes es una de las enfermedades que ha incrementado rápidamente alrededor del mundo. En Estados Unidos, la diabetes ha sido diagnosticada en más de 25 millones de niños y adultos, de los cuales aproximadamente un tercio no sabe que tiene dicha enfermedad,

según la Asociación de Diabetes Americana (ADA). La diabetes afecta múltiples sistemas y órganos como riñones, ojos, nervios y vasos sanguíneos. La diabetes es la principal causa de nefropatía terminal, ceguera del adulto y amputación de extremidades en Estados Unidos [4]. Esta enfermedad tiene la característica de ser silenciosa, por lo que la mayoría de los casos se diagnostica de manera tardía, cuando ya ha provocado daños severos. Por lo que es de suma importancia el estudio de métodos computacionales que permitan una detección temprana de esta enfermedad.

Las imágenes retinianas son una herramienta muy importante para la detección temprana de la diabetes, ya que la retina es muy sensible a esta enfermedad, presentando anormalidades en la retina (retinopatía diabética), como microaneurismas, hemorragias, exudados fuertes y exudados suaves, en las primeras etapas de desarrollo de la retinopatía diabética, hasta presentar edemas maculares o neovascularización, en las etapas de desarrollo avanzadas [7]. En particular este estudio tiene por objeto la detección de exudados fuertes sobre la retina. La detección de exudados fuertes nos permitirá dar un indicio de grado de afección de la retino-

patía diabética sobre el ojo. Se utilizará una base de datos llamada DIARETDB1 para validar el algoritmo propuesto.

II. Retinopatía Diabética

La diabetes es un trastorno metabólico en el que los niveles de azúcar en la sangre (glucosa) son demasiado elevados. Existen dos tipos de diabetes (tipo 1 y tipo 2). Cuando se presenta la diabetes tipo 1, la persona es insulino dependiente, esto quiere decir que su cuerpo es incapaz de producir insulina

por sí mismo, por lo que se debe suministrar insulina por medio de inyecciones u otro método. Cuando se presenta la diabetes tipo 2, la persona se considera insulino resistente, es decir que su cuerpo produce suficiente insulina, pero su cuerpo es incapaz de utilizarla correctamente, por lo que su cuerpo produce aún más insulina para compensar los cambios [4]. La diabetes afecta órganos como la retina (retinopatía diabética), riñones (nefropatía diabética), y el sistema nervioso (neuropatía diabética) [7].

La retinopatía diabética es una enfermedad ocular en donde los vasos sanguíneos en la retina son dañados. Los vasos sanguíneos dañados se hinchan, y pueden tener fugas de líquidos. También pueden cerrarse e impedir que la sangre fluya. Para permitir la correcta circulación de la sangre en la retina, se generan nuevos vasos sanguíneos sobre la retina, los cuales pueden ocasionar anomalías en la retina. Esta enfermedad se inicia con la etapa retinopatía no proliferativa ligera, en la que aparecen pequeñas inflamaciones en los vasos sanguíneos llamados microaneurismas, que al reventarse, estos producen hemorragias intrarretinales. La siguiente etapa es llamada retinopatía no proliferativa moderada en la que aparecen edemas maculares y exudados fuertes. En los primeros, se produce una hinchazón en la mácula, y los segundos son fugas de lípidos que ocurren en los vasos sanguíneos débiles. La siguiente etapa se denomina retinopatía no proliferativa severa, en esta la mayoría de los vasos sanguíneos están obstruidos, por lo que el cuerpo envía señales para iniciar la generación de nuevos vasos sanguíneos. La última etapa es la retinopatía proliferativa, en donde se generan los nuevos vasos sanguíneos, siendo estos anormales y frágiles. Esto es llamado neovascularización [7].

III. Metodología

A. Localización del disco óptico

El disco óptico es la zona circular y más brillante ubicada en el centro de la retina. Esta es la región de entrada de los vasos sanguíneos y nervios ópticos de la retina. Para la localización del centro del disco óptico se utiliza un método basado en la correlación de histogramas [5]. La cual consiste en la creación de una base de datos de histogramas normalizados para cada una de las capas RGB de la imagen del disco óptico, extraída en una N cantidad de imágenes retinianas. En este trabajo se utilizó N = 20. Se obtiene la media para los N histogramas normalizados correspondientes a cada capa RGB del disco óptico, los cuales serán los histogramas de referencia para comparaciones posteriores. Se recorre toda la imagen en cuadros de 200x200 píxeles (tamaño medio del disco óptico en una imagen retiniana de la base de datos utilizada), donde para cada uno de los cuadros, se obtienen los histogramas normalizados de cada una de las capas RGB, los cuales se comparan con el histograma normalizado de referencia, esto para encontrar la mayor correlación entre histogramas. La métrica utilizada es definida como:

$$C = 1 - \sum_{i=1}^{256} \frac{1}{i} (a-b)^2$$

Donde a y b son los histogramas normalizados usados para el cálculo de su correlación. El mayor valor de correlación posible es C = 1 (cuando a y b son iguales), y el valor mínimo es C = 0 (cuando a y b son desiguales). Esta métrica se utiliza para cada una de las capas RGB, por lo que se obtendrán tres valores de correlación (correlación rojo, Cr, correlación verde, Cv, correlación azul, Ca). Para obtener un valor total de correlación, se le asigna un peso a cada valor de correlación.

$$C_{col} = tr + Cr + tv + Cv + tb + Cb$$

Donde Ccol es el valor total de la correlación, Cr, Cv y Cb son los valores de correlación de cada una de las capas RGB analizadas y tr, tv y tb son los pesos para cada uno de las capas RGB. El artículo tomado bajo referencia [5], recomienda utilizar los valores de tr = 0.5, tg = 2.0 y tb = 1. El cuadro con mayor correlación es considerado como disco óptico.

B. Máscara del Disco Óptico

Una vez localizado el disco óptico, se aplica una máscara sobre este, con el fin de que esta porción de la imagen retiniana no afecte en la detección de anomalías en la retina. Como primer punto se creó una nueva capa utilizando los valores máximos rojo, verde y azul de la imagen que contiene solamente el disco óptico [2], mediante la siguiente ecuación,

$$ColMax = \max(R, G, B).$$

Esta nueva capa se normaliza por medio de la normalización min-max, para mantener el rango de 0 a 255. Para eliminar el ruido que puede causar los vasos sanguíneos y los nervios ópticos de la retina, se aplica un filtro de mediana. Seguido a esto se utiliza un filtro para el mejoramiento de los bordes (high boost) [3]. Mediante el procesamiento anterior, se procedió a segmentar el disco óptico para la creación de la máscara sobre este, para lo cual se utilizó segmentación por histograma, específicamente el método de Otsu de un solo nivel. Se hizo uso de operaciones morfológicas con un elemento estructurante esférico para el mejoramiento de esta capa, utilizando operaciones de erosión y dilatación. Por último, esta máscara se aplicó sobre la imagen retiniana original.

C. Detección de exudados fuertes

Los exudados fuertes se presentan en la etapa retinopatía no proliferativa moderada. Son ocasionados debido a las pérdidas de lípidos de vasos sanguíneos dañados, provocando depósitos de grasa sobre la retina. Para la detección de exudados fuertes, como primer punto se realizó una operación aritmética entre los valores de las capas RGB de la imagen retiniana con una máscara en el disco óptico, esto para obtener una nueva capa de color [2]. Esta nueva capa logró resaltar los exudados fuertes de la imagen retiniana.

$$ExCol = 0.16 + R - 0.5 + G + 0.3 + B$$

Esta nueva capa se normaliza igualmente por medio de la normalización min-max, para mantener el rango de 0 a 255. Seguido a esto se filtra para el énfasis de altas frecuencias, atenuando las bajas frecuencias y haciendo que desaparezcan las regiones homogéneas (high boost). Además, se aplica una transformación directa pixel a pixel, siendo esta una función logarítmica sobre cada uno de los pixeles de la imagen

[2].

Los exudados fuertes se segmentan utilizando el método de Otsu de un solo nivel. Se hizo uso de operaciones morfológicas con un elemento estructurante esférico para el mejoramiento de la segmentación, utilizando operación de dilatación.

D. Métricas para efectividad de algoritmo

Para la evaluación del desempeño del algoritmo se utilizaron métricas basadas en el área, con el fin conocer el grado en que coincide la imagen producida por el algoritmo propuesto y la imagen generada por otro algoritmo o imagen realizada por algún experto médico (ground-truth). En este caso se evalúan falsos positivos (FP), verdaderos positivos (TP), falsos negativos (FN) y verdaderos negativos (TN). Las métricas utilizadas para la evaluación del algoritmo fueron la exactitud, sensibilidad, especificidad, precisión, predicción de valores negativos y el balance [1].

IV. Resultados

Para la creación de la base de datos de histogramas normalizados de discos ópticos se utilizó la base de datos DIARETDB1, en la cual se escogieron 20 imágenes al azar. Se procedió al cálculo de los tres histogramas normalizados de referencia con el fin de correlacionar estos con histogramas normalizados de la imagen retiniana. Para evaluar cuantitativamente el funcionamiento del algoritmo se usaron 4 imágenes de prueba de la base de datos.

La identificación del disco óptico se muestra a continuación. El tamaño de las imágenes retinianas es de 1500x1152 pixeles, y el tamaño medio del disco óptico en las imágenes retinianas es de aproximadamente 200x200 pixeles en promedio. En la Fig. 1, se muestra imágenes retinianas donde se perciben el disco óptico, la red de vasos sanguíneos y varias manchas amarillentas o rojizas que marcan algún tipo de anomalía o retinopatía.

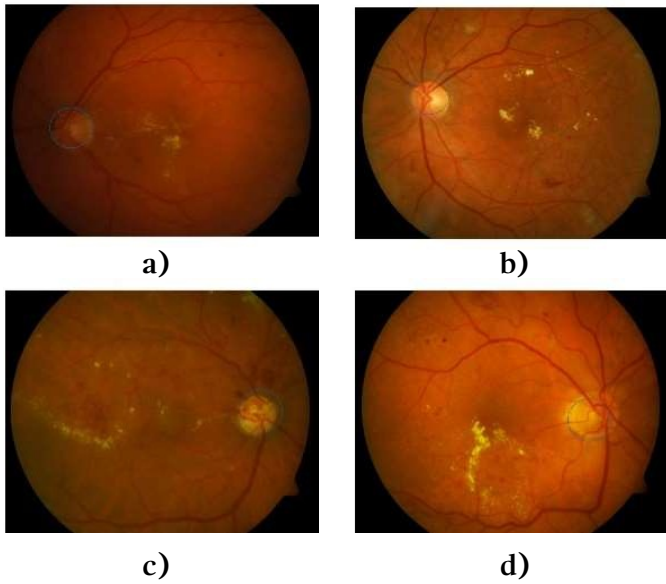


Fig. 1. Imágenes Retinianas

Uno de los principales obstáculos al analizar este tipo de imágenes es el disco óptico el cual perturba los algoritmos automáticos al ser una región con mucha información visual. Sin embargo, al identificar el disco óptico fue posible analizar únicamente la región que contiene el disco óptico, con el fin de la creación de la máscara sobre este. El propósito de este procedimiento es para evitar que afecte posteriores análisis en la identificación de los exudados fuertes en la retina. Se muestran los resultados de las 4 imágenes retinianas.

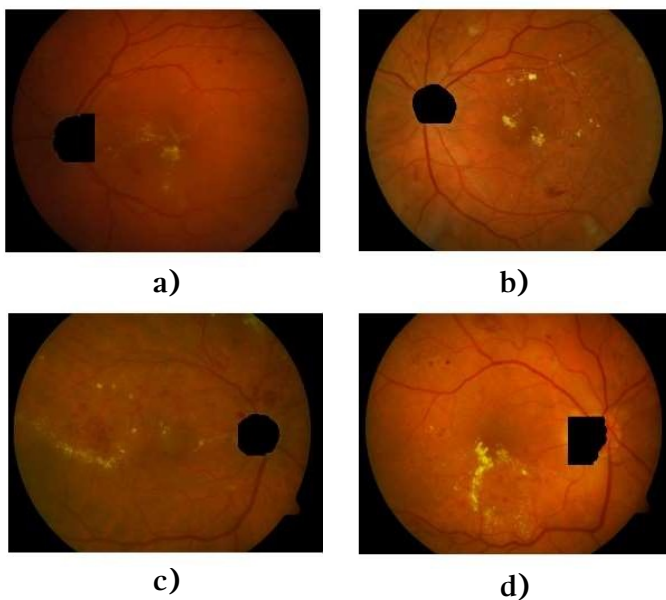


Fig. 2. Imágenes Retinianas con detección y enmascaramiento del disco óptico.

Se realizó la detección de exudados fuertes sobre la imagen retiniana con la máscara sobre el disco óptico. Aplicando las técnicas mencionadas anteriormente, con las cuales es posible compararlas con el ground-truth.

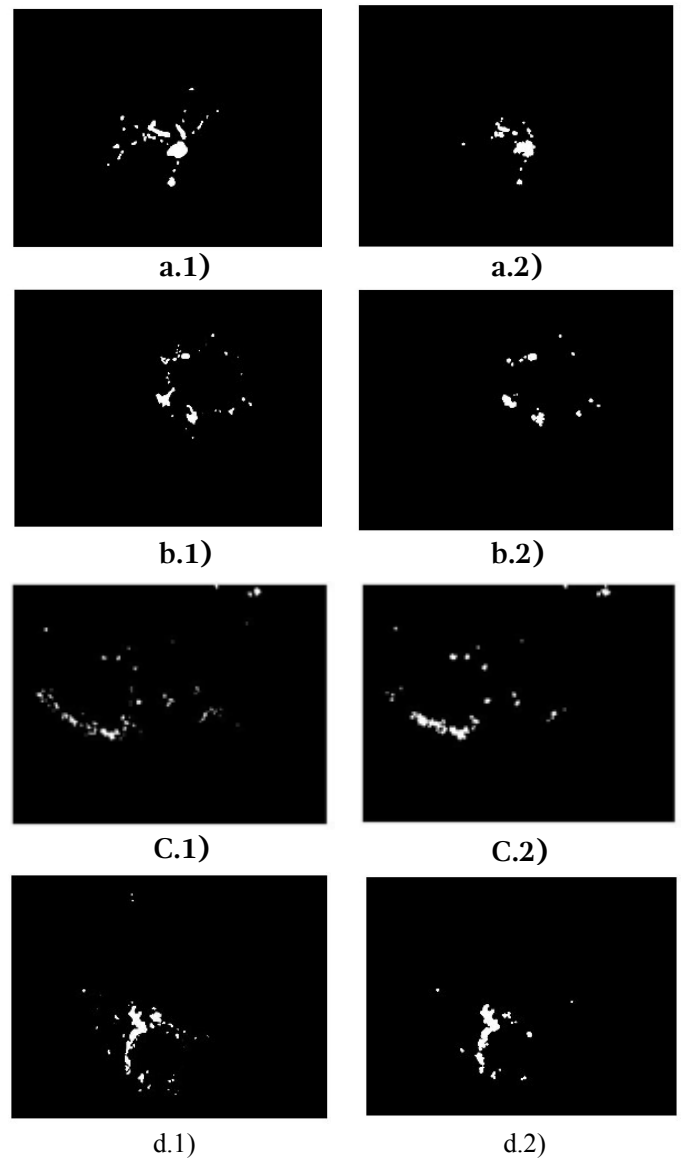


Fig. 3. Ground truth vs Imágenes obtenidas por el algoritmo propuesto

Las imágenes obtenidas por el algoritmo propuesto se compararon con la imagen realizada por un experto, con lo cual es posible obtener valores de exactitud, sensibilidad, especificidad, precisión, valor predictivo negativo y balance. Estos valores se presentan en una escala de 0% a 100%, siendo 100% el mejor de los casos. Los resultados obtenidos de las imágenes bajo prueba se presentan a continuación.

Img	Precisión (%)	Valor predictivo negativo (%)	Balance (%)
a	87.59	99.53	76.09
b	79.65	99.79	83.01
c	52.04	99.82	86.48
d	73.95	99.72	85.41

Img	Exactitud (%)	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)
a	99.46	52.25	99.93
b	99.68	66.12	998.9
c	99.35	73.43	99.53
d	99.49	71.06	99.76

Tabla 1. Resultados métricas basadas en el área

V.Conclusiones

La detección de las anomalías en cualquier tipo de imágenes médicas por medio de algoritmos de visión por computadora, ha facilitado grandemente la detección temprana de estas, lo cual es una ventaja para el tratamiento inmediato de estas. Debido a la gran cantidad de personas con diabetes alrededor del mundo y la falta de conocimiento acerca de los riesgos de esta enfermedad sobre el ojo, la identificación de anomalías en la retina es una herramienta muy importante para la detección temprana de retinopatía diabética. Los exudados fuertes se presentan en la etapa no proliferativa, en la que la retinopatía diabética aún puede tratarse, por lo que su detección es de suma importancia, y evitar que esta enfermedad afecte permanentemente la visión. Cada una de las técnicas aplicadas secuencialmente ofrece un proceso muy efectivo para la detección de exudados fuertes. Dependiendo de cada una de las anomalías en la retina, es necesario el uso de distintas técnicas de procesamiento. No es posible la aplicación de técnicas similares sobre anomalías distintas.

Referencias

- [1] J. P. Civico, “Estudio comparativo de algoritmos disponibles en ITK para la segmentación de imágenes médicas”, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, Marzo 2010.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, “Digital image Processing”, 2da ed, Ney Jersey, Prentice Hall, 2002.
- [3] R. C. Gonzalez, R. E. Woods and S. L. Eddins, “Digital Image Processing Using Matlab”, 1ra ed, Ney Jersey, Prentice Hall, 2004.
- [4] V. Kumay, A. Abbas and J. Aster, “Patología estructural y funcional”, 9na ed, España,

Elsevier, 2015.

[5] A. Dehghani, H. A. Moghaddam and M. S. Moin, “Optic Disc localization in retinal images using histogram matching”, “EURASIP Journal on Image and Video Processing”, vol. 2012, no. 19, October 2012.

[6] Jothi. R , Thillaikkarasi.R, “Automatic Detection of Retinal Lesions for Screening of Diabetic Retinopathy”, “IJARSE”, vol. 7, no. 1, January 2018, pp. 19 – 24.

[7] T. Kauppi, V. Kalesnykiene, J. Kamarainen, L. Lensu, I. Sorri, A. Raninen, R. Voutilainen, H. Uusitalo, H. Kalviainen and J. Pietila, “DIARETDB1 diabetic retinopathy database and evaluation protocol”, “Machine Vision and Pattern recognition Research Group Lappeenranta University of Technology”, Finland, 2007.