

3 RESULTADOS

3. RESULTADOS

Para evaluar la potencia diagnóstica de la herramienta desarrollada en el proyecto contamos con un total de 30 imágenes retinográficas que poseen un total de 421 MA diagnosticados por oftalmólogos expertos.

Tras el preprocesado, la selección de semillas y el crecimiento de regiones, el algoritmo de detección automática segmenta un total de 8724 regiones candidatas, de las cuales 362 se corresponden con MA diagnosticados y el resto, 8361 regiones candidatas, no lo son. Llegados a este punto del algoritmo, observamos que se dejan de detectar 59 MA diagnosticados.

Durante la fase de entrenamiento del clasificador se han empleado 18 imágenes con 320 MA diagnosticados. Tras el crecimiento de regiones se obtienen 5347 regiones candidatas a MA, de las cuales 269 se corresponden con verdaderos MA y 5078 no lo son. Las características calculadas a partir de estas regiones son las utilizadas para entrenar la red neuronal artificial *Fuzzy ARTMAP*. Una vez entrenada, se ha procedido a la clasificación de las 12 imágenes restantes que contienen un total de 101 MA diagnosticados. En este conjunto de imágenes, tras aplicar el preprocesado, la selección de semillas y el crecimiento de regiones, obtenemos un total de 3377 regiones, de las cuales 93 se corresponden con MA diagnosticados y 3284 no. Tras calcular las características de estas regiones, se ha procedido a clasificarlas utilizando la red neuronal previamente entrenada, obteniéndose un total de 78 MA correctamente clasificados y un total de 231 regiones clasificadas erróneamente como MA.

Para evaluar numéricamente la potencia diagnóstica de la herramienta desarrollada se ha empleado la siguiente terminología:

- **TP (True Positive):** Son las regiones que el algoritmo clasifica como MA y que se corresponden con las regiones manualmente diagnosticadas como MA por el oftalmólogo experto.
- **FP (False Positive):** Son las regiones que el algoritmo clasifica como MA y que no se corresponden con ninguna región manualmente diagnosticada como MA por el oftalmólogo experto.
- **FN (False Negative):** Son las regiones que el oftalmólogo experto diagnostica como MA y que el algoritmo no ha sido capaz de clasificar como MA.

- **S (Sensitivity):** Sensibilidad del sistema. Este parámetro relaciona las regiones correctamente clasificadas como MA por el algoritmo con aquellas que no es capaz de clasificar correctamente como MA. Se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{TP}{TP+FN} \quad (\text{Ecuación 11})$$

- **PPV (Positive Predictive Value):** El valor predictivo positivo relaciona los MA correctamente clasificados por el algoritmo con el total de regiones clasificadas como MA por el algoritmo, sean o no MA. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$PPV = \frac{TP}{TP+FP} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Según los parámetros que acabamos de definir, los resultados de la detección automática de MA se pueden expresar de la siguiente forma:

ENTRENAMIENTO	MA	TP	FP	FN	S [%]	PPV [%]
Totales	320	248	372	72	77.5	40
Por imagen	17.77	13.77	20.66	4	77.5	40
CLASIFICACIÓN	MA	TP	FP	FN	S [%]	PPV [%]
Totales	101	78	231	23	77.23	25.24
Por imagen	8.42	6.5	19.25	1.92	77.23	25.24

Tabla 2: Resultados de la detección automática de MA en la fase de entrenamiento y tras la clasificación.

Al realizar un análisis de los resultados obtenidos, observamos que la mayor pérdida de sensibilidad tiene lugar tras el crecimiento de regiones. Esta pérdida de sensibilidad se debe principalmente a dos motivos:

- 1) **El MA se encuentra unido al árbol vascular.** Cuando nos encontramos ante esta situación puede ocurrir que, aunque la semilla esté colocada correctamente en un píxel perteneciente al MA diagnosticado, el algoritmo de crecimiento de regiones considere los píxeles del árbol vascular como pertenecientes a la región definida por el MA debido a que tanto el MA como la vasculatura poseen niveles de intensidad similares. Al incluirse píxeles pertenecientes al árbol vascular, el número de píxeles vecinos que cumplirían la condición de inclusión en la región crece considerablemente, ya que la mayor parte de los píxeles de la vasculatura poseen un nivel de intensidad suficiente para satisfacer el criterio. Este hecho propicia que el mismo algoritmo de crecimiento de regiones deseche la región crecida en el momento que su tamaño exceda el tamaño máximo permitido (que quedó establecido en 30 píxeles) y, por lo tanto, se deje de detectar dicho MA. En este trabajo, se ha observado este comportamiento en 7 de los 421 MA diagnosticados por el especialista. En la Ilustración 25 se muestra como ejemplo uno de estos casos.
- 2) **El MA posee un nivel muy bajo de contraste respecto al fondo de la imagen.** En este caso, es el algoritmo de predicción lineal en 2D el causante de la pérdida de sensibilidad. Recordemos que este algoritmo establece un valor umbral a partir del cual considera que la diferencia entre el valor de intensidad predicho y el valor de intensidad real del píxel es lo suficientemente significativa como para etiquetarlo como candidato a semilla. En el caso de que el MA posea un bajo nivel de contraste respecto al fondo de la imagen, es decir, la intensidad de los píxeles que lo conforman sea similar a la del fondo, la diferencia entre el valor de intensidad predicho y el valor

real de dichos píxeles no llega a ser suficiente como para superar el umbral de detección y, por lo tanto, no se etiqueta ningún píxel de la región como candidato a semilla. Este comportamiento se ha observado en 52 de los 421 MA diagnosticados. En la Ilustración 25 se muestra a modo de ejemplo uno de estos MA cuyo nivel de intensidad es similar al fondo de la imagen.

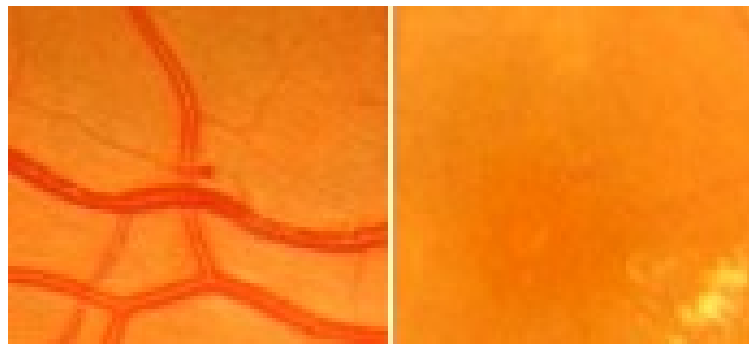


Ilustración 25: A la izquierda, MA ubicado junto al árbol vascular. A la derecha, MA de bajo contraste.

Por otra parte, tal y como se refleja en la tabla anterior, la sensibilidad de la herramienta desarrollada es del 77.23 % y la tasa de *FP* por imagen es de 19.25. Tras obtener estos resultados, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de las ocurrencias en cada imagen de los *FP*, ya que su alto número compromete la viabilidad del algoritmo propuesto en este trabajo. Tras realizar dicho análisis, se llega a la conclusión de que la gran mayoría de estas ocurrencias se dan sobre finos capilares pertenecientes a la vasculatura de la retina. Esto ocurre debido a que el algoritmo de segmentación del árbol vascular no incluye dichos capilares porque la intensidad de éstos no alcanza el valor umbral necesario que definimos en el apartado de preprocesado en la página 36 y, por lo tanto, los píxeles que conforman estos capilares entran a formar parte del proceso de selección de semillas en el que pueden ser etiquetados como candidatos a semillas debido al contraste entre la intensidad de los capilares y el fondo de la retinografía. El proceso de crecimiento de regiones no descarta este conjunto de candidatos ya que al ser píxeles pertenecientes a finos capilares, la superficie que ocupan normalmente no es superior a la superficie máxima permitida. En cualquier caso, para un especialista de la detección de MA, estos falsos positivos pueden ser descartados con facilidad debido a la ubicación de los mismos.

A pesar de esto, si realizamos una comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con otras herramientas de detección automática desarrolladas recientemente, observamos una mejora significativa respecto al trabajo de Mizutani y otros (Mizutani, Muramatsu, Hatanaka, Suemori, Hara, & Fujita, 2009), donde la sensibilidad global del sistema

obtenida es del 44.29 % y la tasa de *FP* por imagen es de 27.04. Es por esto que, aunque los resultados distan bastante de poder considerarse como definitivos, se debe hacer una evaluación positiva del funcionamiento de la herramienta desarrollada en este trabajo.

Por otra parte, es necesario comentar que el tiempo de ejecución promedio que emplea el algoritmo en procesar cada retinografía es de alrededor de 180 segundos al ser ejecutado desde el entorno de desarrollo MATLAB 7.6.0 (R2008a) sobre un ordenador de sobremesa de la marca Hewlett-Packard modelo HP COMPAQ dc7600 Convertible con un procesador Intel Pentium IV de 3.20 GHz y 1 GB de memoria RAM propiedad del grupo de Imágenes Médicas del departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla.

En la Ilustración 26 se muestran, a modo de ejemplo, tres retinografías en las que los MA han sido marcados por el especialista y al lado de cada una de ellas las imágenes con las regiones marcadas como MA por el algoritmo propuesto.

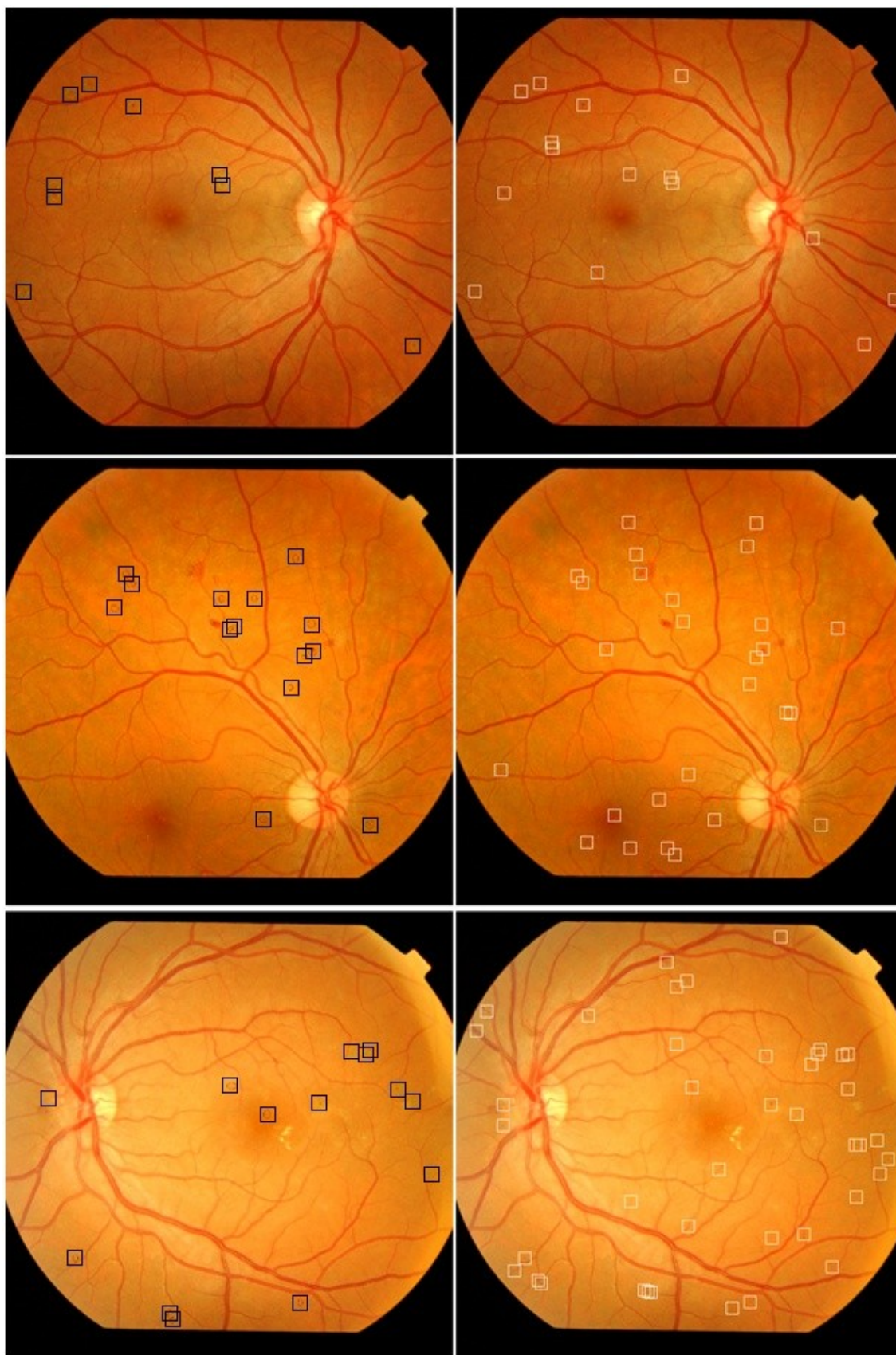


Ilustración 26: Imágenes diagnosticadas por el oftalmólogo experto (columna izquierda) y el resultado de aplicar el método propuesto a las mismas (columna derecha).