

Interfaz gráfica para desarrollo de prototipos de algoritmos de procesamiento de imágenes con Morfología Matemática Difusa

Diego S. Comas^{1,2}, Agustina Bouchet^{1,2}, Juan I. Pastore^{1,2}

¹ Laboratorio de Procesos y Medición de Señales, Facultad de Ingeniería, UNMDP

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET
{diego.comas, abouchet, jpastore}@fi.mdp.edu.ar

Resumen. La resolución de problemas en procesamiento digital de imágenes requiere la búsqueda de un conjunto de algoritmos adecuados al tipo de problemática a resolver y la optimización de los parámetros que se definen a partir de cada uno de ellos. El ajuste de cada una de estas técnicas requiere una continua observación de los resultados obtenidos y un elevado número de pruebas. Una de las técnicas que permite resolver un amplio conjunto de problemas es la Morfología Matemática, en particular la Morfología Matemática Difusa permite representar imprecisiones en imágenes con alto contenido de textura y se ha aplicado con éxito para la segmentación de imágenes médicas de diferente tipo. En este trabajo se presenta el desarrollo de una interfaz gráfica configurable que permite la búsqueda de prototipos de algoritmos para el procesamiento con Morfología Matemática y Morfología Matemática Difusa facilitando tareas de aprendizaje sobre el uso de este tipo de metodología. Además, se analizan las características principales del sistema propuesto y su adecuación al uso.

Palabras clave: Procesamiento de Imágenes, Morfología Matemática Difusa, Segmentación, Interfaz Gráfica de Usuario.

1 Introducción

El Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) se define como la manipulación, en forma digital, de los datos contenidos en una imagen con el fin de obtener información útil [1]. Dicha información constituye la solución al problema planteado. El conjunto de técnicas utilizado en la búsqueda de dicha solución depende del tipo de imágenes disponibles y de la naturaleza de la problemática a resolver.

En la mayoría de los casos el procesamiento comienza con el uso de operaciones intermedias de pre-procesamiento, que permiten resaltar detalles, filtrar ruido, obtener información descriptiva contenida en la imagen, entre otros, con el fin de preparar la información disponible para ingresarla a etapas posteriores de procesamiento como la segmentación o la representación, las que permitirán finalmente arribar a la solución de

la problemática original [2]. La segmentación consiste en separar la imagen en sus diferentes partes constituyentes con el fin de extraer regiones, texturas o contornos. Los objetos extraídos pueden ser contados y posteriormente se pueden calcular múltiples medidas (área, perímetro, longitud, factor de forma, esbeltez, rugosidad, etc.) lo que permite realizar un análisis completo de la imagen bajo estudio. Existen diversas metodologías para desarrollar cada una de estas tareas, como por ejemplo el enfoque morfológico, el algebraico, las que hacen uso de herramientas de inteligencia computacional, entre otras [1, 3]. Cada una de ellas define un amplio conjunto de algoritmos de procesamiento.

La búsqueda de una solución para un determinado problema en PDI constituye una tarea no trivial que a menudo requiere un amplio número de pruebas, en las cuales deben definirse los parámetros de los algoritmos utilizados y ajustarse para obtener una solución adecuada al problema planteado. Por lo tanto, no sólo se requiere la elección de un enfoque de procesamiento adecuado al tipo de problema sino también una búsqueda de los parámetros óptimos para arribar a la solución deseada [4-6]. Por otro lado, el aprendizaje sobre el uso de este tipo de técnicas requiere de diversas pruebas y una continua evaluación de los resultados, lo que permitirá adquirir experiencia en la solución de problemáticas vinculadas al PDI.

La Morfología Matemática (MM) es una teoría basada en conceptos de geometría, álgebra, topología y teoría de conjuntos, creada para caracterizar propiedades físicas y estructurales de diversos materiales [7-9]. En la actualidad la MM se ha convertido en una sólida teoría matemática en la que se basan poderosas herramientas para el PDI. La idea central de esta teoría es examinar las estructuras geométricas de una imagen por superposición con pequeños patrones localizados en distintas partes de la misma, denominados *elementos estructurantes* (EE). La MM permite procesar imágenes con el objetivo de realzar zonas, detectar bordes, analizar estructuras y segmentar regiones, entre otras. A partir de fundamentos teóricos sólidos, la MM ha logrado excelentes resultados en la segmentación de estructuras y una implementación de los algoritmos rápida y sencilla [4, 6]. Sin embargo, ante imágenes con alto contenido de textura e imprecisión en los bordes de las estructuras presentes, un nuevo enfoque se hace indispensable.

Las técnicas desarrolladas para imágenes binarias son el punto de partida para extender la Morfología Matemática a imágenes en niveles de gris. Una de las extensiones existentes se basa en la teoría de conjuntos difusos y se denomina Morfología Matemática Difusa (MMD) [10]. Los conjuntos difusos tienen varias ventajas para representar las imprecisiones de las imágenes y por esto resultan ser una herramienta útil para su segmentación. La Morfología Matemática Difusa se ha aplicado con éxito en imágenes texturadas demostrando cómo las características de los conjuntos difusos hacen de la MMD una técnica útil en la segmentación de imágenes [11-13].

Por todo lo expuesto, resulta necesario contar con la implementación de un conjunto de técnicas que permitan usar operadores morfológicos difusos, más eficientes que los métodos tradicionales, en la búsqueda de la solución de problemáticas de PDI. Si bien existen numerosos ejemplos de software para procesamiento de imágenes a nivel científico [14], no existe un software gráfico configurable para PDI que incluya herramientas de Morfología Matemática Difusa y

asista en la búsqueda de prototipos, es decir, en obtener un conjunto de técnicas y un conjunto de parámetros óptimos para llegar a la solución de un determinado problema mediante la realización de diferentes pruebas y ajustes.

En este trabajo se propone una *interfaz gráfica de usuario* que reúne un amplio conjunto de operadores de la Morfología Matemática Difusa y la Morfología Matemática. El software permite una completa parametrización de cada una de las técnicas implementadas y una continua visualización de resultados previos para facilitar la búsqueda de prototipos de solución a los problemas de procesamiento de imágenes y el aprendizaje sobre el uso de cada uno de los algoritmos. Se incluyen técnicas generales de PDI que complementan el uso del software con los operadores morfológicos, tales como técnicas de realce y operaciones lógicas y algebraicas.

2 Materiales y Métodos

2.1 Requerimientos del sistema

En la propuesta inicial se consideró que el sistema debería constituir para el usuario una herramienta para la aplicación de operadores de MM y MMD y su parametrización debía poder realizarse en forma sencilla y completa. Se incorporarían técnicas generales de pre-procesamiento y operaciones lógicas y algebraicas que complementarían el procesamiento.

Los principales requerimientos funcionales para el sistema se enuncian a continuación:

- Se debería incorporar un amplio conjunto de técnicas de procesamiento de imágenes con MMD y MM.
- El sistema debería permitir la completa parametrización de cada una de las técnicas implementadas. También debería incorporar parámetros por defecto en la totalidad de operaciones, facilitando la rápida implementación de pruebas en las tareas de aprendizaje sobre cada una de las técnicas.
- La parametrización de cada técnica debería realizarse en forma gráfica mostrando en forma simultánea una vista previa del resultado de la operación que facilite el ajuste de los parámetros.
- Se deberían incluir técnicas complementarias a las de MM tales como herramientas de pre-procesamiento, operaciones lógicas y algebraicas, umbralamiento manual y automático (para este software se eligió el algoritmo de OTSU [15], método ampliamente utilizado en la bibliografía), etc., que permitan al usuario realizar todo el PDI que requiera el problema en el software propuesto.
- Debería mostrarse, en cada momento, información relacionada a las técnicas incluidas en el entorno, que facilite el aprendizaje sobre cada una de ellas.

La totalidad de los algoritmos de procesamiento se implementó en MatLab® R2008a. Se desarrolló un toolbox de MMD para la aplicación de este tipo de técnicas y para los algoritmos de MM se utilizó el toolbox incluido en el entorno. El conjunto de ventanas y figuras fueron implementadas con la herramienta GUIDE de Matlab. Esto permite aprovechar la gran eficiencia de MatLab para operaciones relacionadas con el

manejo de matrices, tipo de datos común en procesamiento de imágenes y, por otro lado, permite el uso del toolbox de MMD y la consulta de su documentación, sin hacer uso de la interfaz, en un lenguaje de uso común para la mayoría de los investigadores del área, facilitando además el aprendizaje de cada una de las técnicas.

2.2 Morfología Matemática

La Morfología Matemática (MM) realiza un análisis en las imágenes basado en operadores de la teoría de conjuntos, conceptos geométricos y topológicos y fue creada para caracterizar propiedades físicas y estructurales de diversos materiales [5]. El método general se basa en recorrer la imagen y por cada píxel analizar un subconjunto de píxeles (región de análisis) definido por el “*elemento estructurante*” (EE) de la operación. En cada paso se realiza una función lógica determinada por la operación morfológica que se está utilizando. Las operaciones básicas de la MM son *erosión* y *dilatación*. Por la combinación de estas dos operaciones básicas se definen la *apertura* y *cierre* [7]. Los objetivos principales de la morfología matemática (MM) son:

- Extraer informaciones relativas a la topología y geometría de los conjuntos dentro de las imágenes;
- Comparar un conjunto a caracterizar con una familia de conjuntos conocidos (EE);
- Cuantificar la noción de “*estar contenido*”;
- Transformar las imágenes en otras imágenes más fáciles de ser manipuladas e interpretadas.

La MM se ha aplicado con éxito a una gran cantidad de problemas de procesamiento de imágenes [3, 4, 6]. La MM permite el filtrado, la eliminación de ruido, la eliminación de objetos, la detección de bordes, la caracterización de texturas para tareas posteriores de reconocimiento de patrones, etc. Sin embargo, la MM no permite una completa representación de la incertezas en imágenes con alto contenido de textura o un alto grado de imprecisión en sus componentes estructurales. A partir de la MM binaria se han realizado diferentes extensiones para imágenes en niveles de gris. Una de estas extensiones es la Morfología Matemática Difusa (MMD). Los conjuntos difusos tienen varias ventajas para representar las imprecisiones de las imágenes y resultan ser una herramienta útil para su segmentación. La MMD se ha aplicado con éxito en la segmentación de imágenes médicas [11-13]. Se definirán a continuación los principales operadores implementados en el software presentado, tanto para la MM como para la MMD.

Operadores de la Morfología Matemática. Una imagen binaria puede modelarse como una función X definida de un subconjunto $G \subset \mathbb{Z}^2$ en el conjunto $\{0,1\}$. Las operaciones básicas de la morfología, para una imagen binaria, se definen de la siguiente manera [7]:

La *erosión* de la imagen X por el elemento estructurante B :

$$\varepsilon^B(X) = \{x \in X/B_x \subset X\} = X \ominus B = \text{ero}_B(X) \quad (1)$$

donde $B_x = \{b + x/b \in B\}$ indica el desplazamiento del elemento estructurante sobre la imagen. Por lo tanto la *erosión* de una imagen está constituida por aquellos elementos donde el EE desplazado esté incluido en la imagen.

La *dilatación* de la imagen X por el elemento estructurante B :

$$\delta^B(X) = \{x \in X/\tilde{B}_x \cap X \neq \emptyset\} = X \oplus B = \text{dil}_B(X) \quad (2)$$

donde el operador $\tilde{B}_x = \{-b + x/b \in B\}$ indica el desplazamiento del elemento estructurante espejado respecto a su origen. Por lo tanto la *dilatación* de una imagen está formada por aquellos puntos donde el EE desplazado y espejado tenga al menos un elemento común con la imagen.

Combinando estas dos operaciones básicas se definen la *apertura* y el *cierre*, respectivamente, de la imagen X por el elemento estructurante B de la siguiente manera:

$$X \circ B = \gamma_B(X) = \delta_B(\varepsilon_B(X)) \quad (3)$$

$$X \bullet B = \Phi_B(X) = \varepsilon_B(\delta_B(X)) \quad (4)$$

siendo δ y ε las operaciones de dilatación y erosión para imágenes binarias definidas en las ecuaciones (2) y (1) respectivamente.

La *dilatación condicionada* de una imagen puede definirse como:

$$\delta_{CX}^B(Z) = \delta^B(Z) \cap X \quad (5)$$

que permite obtener la dilatación de la imagen Z (conocida como marcador) condicionada a la imagen X . La aplicación de la dilatación condicionada en forma repetitiva hasta la idempotencia constituye el proceso conocido como *reconstrucción*.

La extensión de los operadores morfológicos a *imágenes en escala de gris*, se realiza considerando a la imagen y al EE como una función de variables discretas. Puede definirse a la imagen f como función de las variables s y t y al elemento estructurante b como función de x e y . Bajo estas consideraciones las operaciones morfológicas básicas *erosión* y *dilatación* de la imagen f por el elemento estructurante b se definen, respectivamente, como:

$$f \ominus b(s, t) = \min_{(s+x), (t+y) \in D_f; (x,y) \in D_b} \{f(s+x, t+y) - b(x, y)\} \quad (6)$$

$$f \oplus b(s, t) = \max_{(s-x), (t-y) \in D_f; (x,y) \in D_b} \{f(s-x, t-y) + b(x, y)\} \quad (7)$$

Combinando estas operaciones de la misma forma que para el caso de imágenes binarias se define la *apertura* y el *cierre* para imágenes en niveles de gris.

Para el caso de EE planos en la morfología en niveles de gris, el EE define solamente el subconjunto de los píxeles de la imagen que deben analizarse para cada desplazamiento. Así la extensión de las definiciones dadas en (6) y (7) quedan expresadas de la siguiente forma:

$$f \ominus b(s, t) = \min\{f(s+x, t+y)/(s+x, t+y) \in D_f; (x,y) \in D_b\} \quad (8)$$

$$f \oplus b(s, t) = \max\{f(s-x, t-y)/(s-x, t-y) \in D_f; (x,y) \in D_b\} \quad (9)$$

Dentro de la MM una técnica de segmentación de imágenes sumamente útil es la *transformada Top-Hat*, la cual permite eliminar determinados elementos de la imagen original, despreciando las regiones que no son de interés. Ésta se define de la siguiente manera:

$$\rho_{cierre}(f, b) = (f \bullet b) - f \quad (10)$$

$$\rho_{apertura}(f, b) = f - (f \circ b) \quad (11)$$

Operadores de la Morfología Matemática Difusa. En lo que sigue μ y ν denotarán dos conjuntos difusos, donde el primero corresponde a una imagen en niveles de gris y el segundo corresponde al elemento estructurante. Es importante destacar que para la mayoría de los casos las imágenes en niveles de gris se definen de forma tal que la intensidad del nivel de gris en cada píxel es un valor entero perteneciente al intervalo natural $[[0,255]]$. Por lo tanto, para estar en condiciones de aplicar los operadores de la MMD es necesario generar una función que cambie la escala de estas imágenes, llevándolas al rango $[0,1]$. A este proceso de cambio de escala de lo denomina “*fuzzificación*”, mientras que al proceso inverso se lo denomina “*desfuzzificación*”. Para el desarrollo de este trabajo la función de fuzzificación $g: \{0,1,2, \dots, 255\} \rightarrow [0,1]$ utilizada es:

$$g(x) = \frac{x}{255} \quad (12)$$

El proceso inverso mediante el cual las intensidades de los niveles de gris de una imagen, pertenecientes al intervalo $[0,1]$, son llevados al conjunto $\{0,1,2, \dots, 255\}$ se define a partir de la función $h: [0,1] \rightarrow \{0,1,2, \dots, 255\}$ dada por:

$$h(x) = [255 \cdot x] \quad (13)$$

donde $[\cdot] : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{Z}$ representa la función parte entera, es decir, $[a]$ es el número entero más cercano a a con $a \in \mathbb{R}$.

Es importante destacar que este proceso no convierte a la imagen en una representación difusa de un objeto, sino que modela a una imagen en niveles de gris como un conjunto difuso con el fin de poder aplicar la teoría de conjuntos difusos.

La definición de las operaciones básicas de la MMD se muestra a continuación [11, 12].

La *dilatación* de la imagen μ por el EE ν :

$$\mu \oplus \nu = \sup_{y \in U} [t(\mu(y), \nu(y - x))] \quad (14)$$

donde $t[a, b]$ es una t-norma [16].

La *erosión* de la imagen μ por el EE ν :

$$\mu \ominus \nu = \inf_{y \in U} [s(\mu(y), c(\nu(y - x)))] \quad (15)$$

donde $s[a, b]$ es una s-norma y $c(a)$ es el complemento difuso [17].

La *apertura morfológica difusa* de μ por ν está dada por:

$$\mu \circ \nu = (\mu \ominus \nu) \oplus \nu \quad (16)$$

Como se puede observar esta definición es equivalente a la definición de la apertura morfológica clásica dada por la ecuación (3), con la diferencia de que en este caso se utilizan los operadores básicos difusos. De forma análoga se pueden definir el cierre difuso. Para una mayor profundización sobre los operadores de la MMD pueden consultarse [10, 11, 18, 19].

2.3 Software implementado

El software desarrollado consta de una ventana principal (Fig. 1) donde se visualizan las imágenes cargadas y se eligen qué algoritmos aplicar y con qué parámetros. Las técnicas implementadas fueron divididas en 5 grupos, asociado cada uno de ellos a un menú en la ventana principal. El primero de ellos corresponde a las operaciones lógicas y aritméticas, que incluyen la suma, resta, multiplicación y un conjunto de operaciones lógicas para imágenes binarias. En otro menú se encuentran operaciones como el negativo, extracción del marco de la imagen para tareas de reconstrucción, operaciones de umbralamiento tanto automático como manual y la superposición de una imagen binaria con otra imagen del mismo tamaño. Esto último permite destacar puntos detectados mediante algún algoritmo de segmentación y compararlo simultáneamente con la imagen original. Los otros tres grupos de operaciones corresponden a las

herramientas de Morfología Matemática tanto para imágenes binarias como imágenes en niveles de gris.

El procedimiento para la aplicación de cada uno de los algoritmos a una imagen es el siguiente: 1) se selecciona el tipo de técnica a utilizar; 2) se elige la técnica específica y sus parámetros (utilizando los paneles para el ajuste de cada uno de ellos); 3) se observa en pantalla una vista preliminar del resultado de la aplicación del algoritmo con los parámetros seleccionados, la cual puede ampliarse para una mejor visualización (Fig. 2); 4) se personalizan los parámetros para la aplicación del algoritmo; 5) mediante el uso del botón “Aplicar” se genera una nueva imagen que puede ser almacenada y/o usada para continuar con alguna otra técnica de procesamiento.

Para las técnicas de MM y MMD se utilizan paneles de parametrización de los algoritmos (Fig. 3) que permiten la selección de la forma del elemento estructurante, su tamaño, la cantidad de iteraciones de la operación y para la MMD además se especifica la dispersión del EE y la norma a utilizar.



Fig. 1. Ventana principal del Software de Morfología Matemática donde se aplica una erosión difusa a una biopsia de médula ósea.

Para facilitar la selección de los algoritmos y sus parámetros se incorporaron herramientas de zoom e información relacionada con la intensidad de los píxeles de la imagen. En cada uno de los algoritmos se incluyen parámetros por defecto. Cada una de las imágenes resultantes de las operaciones se numera en secuencia y se nombra indicando la técnica que fue aplicada para obtenerla, de esta manera se facilita la elaboración de una secuencia de procesamiento que permita automatizar la solución al

problema planteado. Para aquellas operaciones en las que intervienen 2 imágenes, por ejemplo suma, resta, reconstrucción morfológica, etc., se permite una selección visual de cada una de ellas y también una vista preliminar del resultado de la operación.

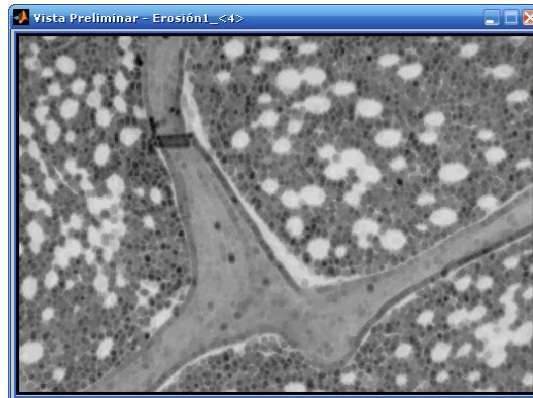


Fig. 2. Ampliación de vista preliminar, para una biopsia de médula ósea erosionada utilizando MMD.

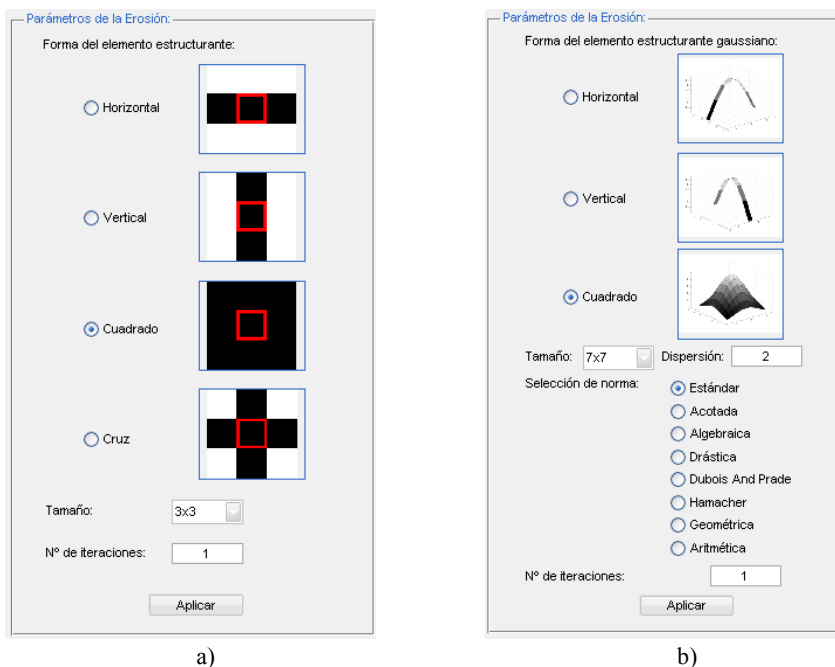


Fig. 3. Paneles para la selección de parámetros de los algoritmos de MM.
a) Erosión con MM. b) Erosión con MMD.

3 Resultados

El software desarrollado fue probado para resolver dos problemas de segmentación de imágenes con el uso de la MM y la MMD. El principal aspecto a evaluar fue la adaptación del sistema propuesto a los requerimientos, considerando principalmente la facilidad de parametrización de cada una de las técnicas implementadas y el uso general de la aplicación. Se procesaron imágenes de biopsia de médula ósea y angiografías retinales utilizando en cada caso los parámetros considerados óptimos para su procesamiento.

Para las biopsias de médula ósea se buscó detectar en forma automática los tejidos utilizando los operadores morfológicos disponibles en el software. Para llegar al resultado obtenido se siguieron los pasos propuestos por los autores del artículo “Segmentación de biopsias de médula ósea mediante filtros morfológicos y rotulación de regiones homogéneas” [4]. En la Fig. 4 se muestra un ejemplo del panel principal de visualización para segmentar la celularidad obtenida.

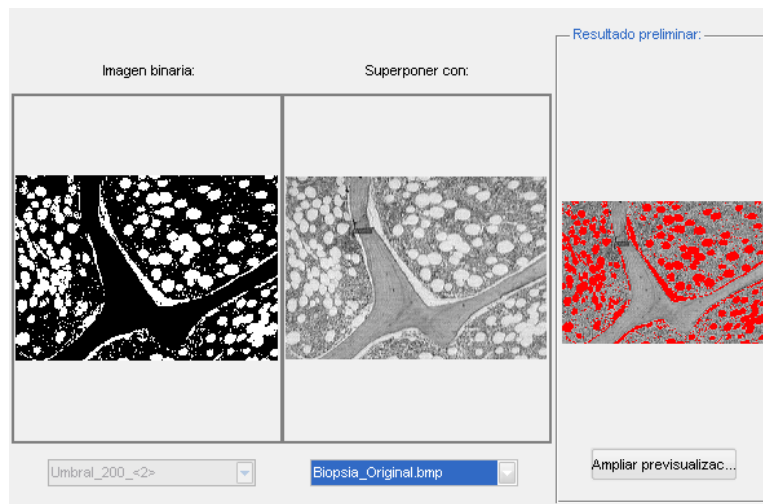


Fig. 4. Panel principal del programa segmentando la celularidad en una imagen de médula ósea.

Para las angiografías retinales se realizó la segmentación de los vasos sanguíneos utilizando MMD, siguiendo los pasos sugeridos en el artículo “Morfología Matemática Difusa aplicada a la segmentación de angiografías retinales” [11]. Un ejemplo del procesamiento en el sistema desarrollado se muestra en la Fig. 5.

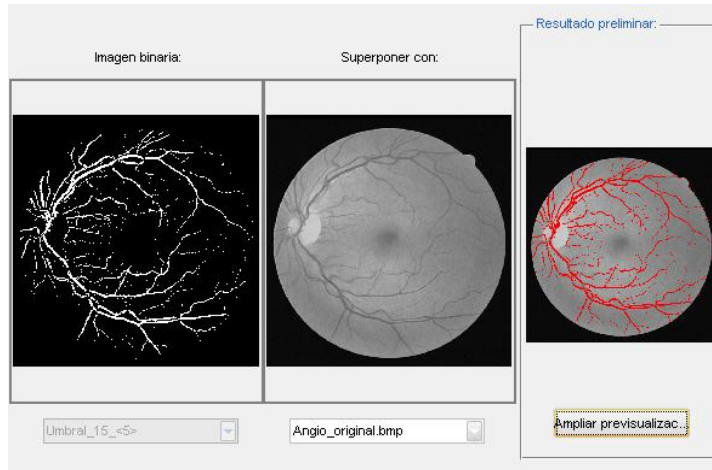


Fig. 5. Imágenes original y segmentación de los vasos sanguíneos de las angiografías.

4 Conclusiones

Se desarrolló un entorno gráfico para el procesamiento de imágenes que implementa un amplio conjunto de operadores de la MMD y la MM y técnicas generales de procesamiento.

Cada una de las técnicas implementadas es completamente parametrizable en forma gráfica, lo que facilita el ajuste de cada uno de los algoritmos para llegar a la solución óptima para el problema planteado.

Para cada una de las técnicas se muestran resultados preliminares que facilitan la búsqueda de un conjunto de algoritmos y de parámetros de procesamiento óptimo. La incorporación de un vasto conjunto de técnicas de PDI permite la completa resolución de diferentes problemáticas en el sistema implementado.

El conjunto de herramientas de MMD implementadas en este trabajo es único para una interfaz gráfica de usuario como la desarrollada.

La visualización de resultados preliminares y el vasto conjunto de herramientas totalmente parametrizables, hacen adecuado el uso de esta interfaz en un curso introductorio de procesamiento de imágenes, facilitando la experimentación con cada una de las técnicas y el aprendizaje sobre su funcionamiento.

Referencias

1. Gonzalez, R. C., Woods, R. E.: Digital image processing, Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. (2002)
2. Baxes, G. A.: Digital image processing: principles and applications, Wiley, New York (1994)
3. Bangham, J. A., Marshall, S.: Image and Signal processing with mathematical morphology. IEE Electronics & Communication Engineering Journal, 117--128 (1998)

4. Pastore, J. I., Moler, E., Meschino, G.: Segmentación de biopsias de médula ósea mediante filtros morfológicos y rotulación de regiones homogéneas. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica* 21, 37--44 (2005)
5. Comas, D. S., Meschino, G. J., Ballarin, V. L.: Framework de segmentación y análisis de imágenes mediante reconocimiento de texturas. In: *Argentinian Symposium of Technology (AST)*, pp. 1529--1541. Buenos Aires, Argentina (2010)
6. Meschino, G. J., Moler, E. G.: Semiautomated Image Segmentation of Bone Marrow Biopsies by Texture Features and Mathematical Morphology. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology* 26, 31--38 (2004)
7. Serra, J.: *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, London (1982)
8. Serra, J.: *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press 1988)
9. Moler, E. G., Ballarin, V. L., Gonzalez, M.: Características Estadísticas, Espectrales y Morfológicos para Clasificación de Texturas: Un Análisis Comparativo. In: *VIII RPIC Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control*, pp. 59--62. Mar del Plata (1999)
10. Bouchet, A., Pastore, J., Ballarin, V.: Segmentación de Imágenes a través de Morfología Matemática Difusa. In: *Reunión de Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2005)*, pp. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina. (2005)
11. Bouchet, A., Brun, M., Ballarin, V.: Morfología Matemática Difusa aplicada a la segmentación de angioografías retinales. *Revista Argentina de Bioingeniería* 16, 7--10 (2010)
12. Bouchet, A., Pastore, J., Ballarin, V.: Segmentation of Medical Images using Fuzzy Mathematical Morphology. *Journal of Computer Science and Technology*, 256--262 (2007)
13. Bouchet, A., Brun, M., Ballarin, V.: Análisis comparativo de robustez entre operadores morfológicos clásicos y difusos aplicados al Procesamiento Digital de Imágenes. In: *37° Jornadas Argentinas de Informática (JAIIO 2008)*. Santa Fe, Argentina (2008)
14. Media Cybernetics, <http://www.mediacy.com/>
15. Otsu, N.: A threshold selection method from gray-level histogram. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern*, 62--66 (1979)
16. Dubois, H., Prade, D.: *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, Academic Press Inc, New York (1980)
17. Klement, E. P., Mesiar, R., Pap., E.: Triangular norms. position paper i: basic analytical and algebraic properties. *Fuzzy Sets and Systems* 143, 5--26 (2004)
18. Bloch, I., Maitre, H.: Fuzzy mathematical morphologies: A comparative study. *Pattern Recognition*, 1341--1387 (1995)
19. Palacios, F. B., Bouchet, A., Brun, M., Ballarin, V.: Análisis comparativo de robustez entre filtros morfológicos clásicos y difusos aplicados al Procesamiento Digital de Imágenes. In: *38° Jornadas Argentinas de Informática (JAIIO 2009)*. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina (2009)