

## Influencia de la interpolación sobre la calidad de imágenes de microscopía celular Influence of Interpolation on the quality of cell microscopy images

Arianny Coca Rodriguez<sup>1\*</sup>

0000-0003-0688-3679

Juan Valentín Lorenzo Ginori<sup>2</sup>

0000-0002-1521-1244

<sup>1</sup>Centro Universitario Municipal de Placetas. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones de la Informática, Facultad de Matemática, Física y Computación. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.

\* Autor para la correspondencia. Correo electrónico: [arcoca@uclv.cu](mailto:arcoca@uclv.cu)

### RESUMEN

El presente trabajo tiene el propósito de analizar, para el caso particular de imágenes de microscopía celular de eritrocitos de sangre humana, en qué medida puede influir en la calidad de la imagen la aplicación de métodos de interpolación para mejorar la resolución de esta y con qué métodos se podrían obtener resultados satisfactorios. Se aplicaron para su comparación tres métodos de interpolación a las imágenes a color seleccionadas: splines cúbicos, bicúbico y bilineal y se evaluó la eficiencia computacional de estos. Se utilizaron dos factores de reducción de la resolución (2 y 4) por filas y columnas de la imagen digital. Las medidas utilizadas para valorar la calidad de las imágenes interpoladas fueron la relación señal-ruido y el error medio cuadrático, cuyos valores fueron procesados estadísticamente mediante las pruebas de Friedman y de Wilcoxon, esta última como test post-hoc. Los resultados permiten recomendar el método bicúbico de interpolación como el más favorable para este tipo de imágenes ya que fue el de mejor comportamiento entre los utilizados.

**Palabras clave:** calidad imágenes digitales microscopía celular; interpolación imágenes digitales microscopía celular; resolución de imágenes digitales.

## ABSTRACT

The present work has the purpose of analyzing, for the particular case of cell microscopy images of erythrocytes from human blood, to what extent the application of interpolation methods to improve the image resolution can influence the image quality and with which methods satisfactory results might be obtained. Three interpolation methods were applied for their comparison to the selected color images: cubic splines, bicubic and bilinear and their computational efficiency was also evaluated. Two resolution reduction factors (2 and 4) were used for rows and columns of the digital image. The measures used to assess the quality of the interpolated images were the signal-to-noise ratio and the mean square error, whose values were statistically processed using the Friedman and Wilcoxon tests, the latter as a post-hoc test. The results make it possible to recommend the bicubic interpolation method as the most favorable for this type of images since it was the one with the best performance among those used.

**Keywords:** quality of digital images cell microscopy; digital image interpolation methods cell microscopy; resolution of digital images.

Recibido: 29/10/2020

Aprobado: 19/03/2021

## Introducción

El equipamiento médico a medida que transcurre el tiempo se vuelve cada vez más complejo y ofrece una mayor gama de prestaciones de servicios y facilidades, de lo cual no escapa el microscopio óptico digital, el cual genera una gran cantidad de imágenes que se hace necesario procesar. No obstante, no siempre es económicamente posible adquirir un dispositivo con la calidad requerida, como puede ocurrir en el caso de la resolución de la cámara de dicho microscopio. Por tales motivos constituye la razón de este trabajo investigar si es posible mejorar la calidad de imágenes con resolución insuficiente, mediante la aplicación de técnicas del Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) tales como la interpolación de imágenes.

La resolución espacial de una imagen se define como la cantidad de píxeles por unidad de longitud en cada eje de coordenadas  $x$  e  $y$ .

Cuando ocurren variaciones en la resolución a un nivel tal que el ojo humano es capaz de percibirlo, observamos en la pantalla los píxeles aumentados de tamaño como rectángulos, lo que altera los contornos y distorsiona la imagen, deteriorando en gran medida la calidad de esta.

Suele considerarse que en un sistema de procesamiento digital de imágenes existe un valor mínimo aceptable para la resolución espacial (cantidad de píxeles por ejes de coordenadas) que depende de las dimensiones físicas de la imagen y de la aplicación.<sup>(1-3)</sup>

Este documento está bajo [Licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



La interpolación es el proceso mediante el cual se incrementa la tasa de muestreo, determinando los valores de intensidad de los píxeles que deben ser intercalados entre los píxeles originales.<sup>(4)</sup>

Se dice que la imagen resultante de la interpolación será aparentemente de mayor resolución porque se puede dar el caso de que la interpolación no mejore en realidad la resolución, lo cual sucede cuando la imagen a interpolar tiene originalmente una frecuencia espacial máxima mayor que la frecuencia de Nyquist a la que fue muestreada, es decir no se cumple el teorema del muestreo para la imagen de partida, y entonces podemos considerar que no se recupera la resolución espacial. Así que, en ese caso, la interpolación sólo incrementó la cantidad de píxeles por unidad de área pero no resuelve el problema de mejorar la resolución, para lo cual se requeriría de la utilización de técnicas como las denominadas de superresolución.<sup>(5)</sup>

Por otra parte, si la imagen de partida cumple con el teorema de Nyquist, la hipótesis en que se basa este trabajo es que la interpolación puede mejorar la calidad de procesos tales como la segmentación de la imagen, porque de los contornos difusos que se producen se pueden estimar los contornos originales de los objetos en una más alta resolución con mayor precisión.<sup>(6),(7)</sup>

Este trabajo tiene el propósito de analizar en qué medida puede influir de manera positiva en la calidad de una imagen de microscopía celular, para el caso particular de eritrocitos de sangre humana, la aplicación de métodos de interpolación y con cuál se pudieran obtener resultados satisfactorios,

## Métodos

### Características de las imágenes utilizadas en el estudio

El estudio se realizó sobre 10 imágenes del Atlas de Hematología (image variations of red blood cells), que aparece en Internet.<sup>(8)</sup> Las imágenes fueron obtenidas a partir de un frotis de sangre humana y se encuentran todas en el espacio de color RGB.

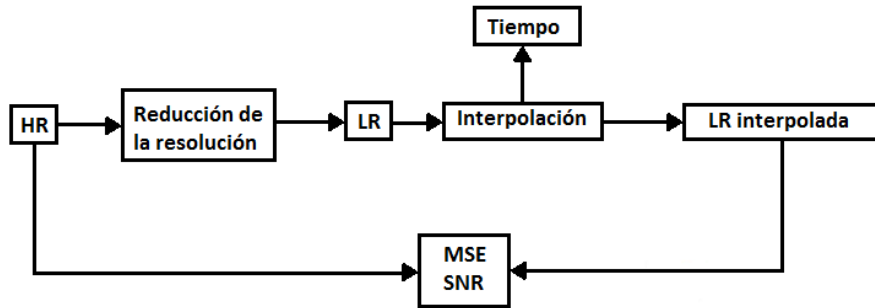
### Posible influencia de la interpolación sobre la calidad de la imagen

Para analizar el efecto de la interpolación sobre la resolución de una imagen se siguió el procedimiento representado en la secuencia de la Figura 1, el cual consiste en: tomar cada una de las imágenes seleccionadas (denominadas de alta resolución HR) y realizar una reducción de su resolución mediante un programa creado en Matlab (la imagen resultante se denomina según la figura 1, LR de baja resolución); en el paso siguiente se procede a la realización de la interpolación, mediante los métodos de interpolación seleccionados (bicúbico, bilineal y mediante splines cúbicos)<sup>(4)</sup>, teniendo en cuenta el mismo factor por el cual se disminuye la

Este documento está bajo [Licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



resolución. Después de estas transformaciones realizadas a la imagen se calculan la relación señal a ruido (SNR) y el error medio cuadrático (MSE) entre la imagen inicial HR y la interpolada (LR interpolada). Además se registra el tiempo (T) que demora la interpolación.



**Fig. 1-** Esquema del procedimiento básico realizado con las imágenes para analizar el efecto de la interpolación en la resolución espacial de una imagen.

El programa que disminuye la resolución espacial de la imagen lo hace por separado para los tres planos de color y al final se recompone la imagen. Los parámetros de entrada para esta función son la imagen denominada HR en la figura 1 y el factor por el cual se realizará la reducción, igual para las filas y columnas, utilizándose en este caso los factores 2 y 4. A la salida se obtiene la imagen LR: Imagen de baja resolución consecuente con los factores que fueron seleccionados. La misma se obtiene promediando las intensidades de píxeles adyacentes.

### Algoritmos de interpolación implementados en Matlab

De los métodos de interpolación seleccionados, el bicúbico y el bilineal fueron implementados mediante la función ‘imresize’ de Matlab. Esta función devuelve una imagen redimensionada a partir de un escalado de la imagen original. La imagen de entrada puede ser en escala de grises, RGB (*truecolor*) o binaria. Si el factor es un valor entre 0 y 1 la imagen redimensionada será de menores dimensiones que la imagen original, mientras que si el valor del factor es mayor que 1, la imagen redimensionada será de mayores dimensiones.<sup>(9)</sup>

Para la interpolación mediante splines cúbicos se elaboró una función en Matlab específica para imágenes a color, nombrada *spl\_interp\_color* que interpola imágenes por factores *factrows* y *factcols* en filas y columnas respectivamente; si la imagen de entrada no es RGB (*truecolor*) se genera un error, de lo contrario se convierte la imagen a real normalizada y se toman las componentes de color de la imagen. Dicho programa utiliza la función *interp* para efectuar la interpolación, especificando *spline* como método.

De forma independiente se evalúa el tiempo que demora la interpolación mediante las funciones *tic* y *toc*, tomándose el valor medio y la desviación estándar de 20 ejecuciones

### Comparación de los efectos de la interpolación

Este documento está bajo [Licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Entre la imagen inicial (HR) y la imagen interpolada (LR interpolada) se aplican medidas de tipo objetivas, ampliamente utilizadas para evaluar la calidad de la imagen, tales como: el error medio cuadrático y la relación señal-ruido (esta medida derivada de la anterior), a partir de la función confeccionada snr2d.

El error medio cuadrático se define como

$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |F(i, j) - \hat{F}(i, j)|^2. \quad (1)$$

donde  $m$  y  $n$  son las cantidades de elementos de las muestras de imágenes y métodos a comparar y  $F(i, j)$ ,  $\hat{F}(i, j)$  denotan los valores de la intensidad en la imagen original y de la interpolación de esta en el píxel  $(i, j)$ , respectivamente.<sup>(10)</sup> La relación señal a ruido SNR, por otra parte, se define como:

$$SNR = 10 \log \left[ \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |F(i, j)|^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |F(i, j) - \hat{F}(i, j)|^2} \right]. \quad (2)$$

De esta manera quedan conformadas 6 tablas de similar estructura pero variando en ellas el método de interpolación y el factor, donde se recopilan: relación señal-ruido en dB, error medio cuadrático y la media del tiempo, en segundos, que demora interpolar con un ciclo for.

### Análisis estadístico

Los datos coleccionados en las tablas se procesaron estadísticamente empleando el software SPSS 20.0 para Windows. Como en esta investigación la cantidad fijada fue de diez imágenes, se aplicaron directamente pruebas de estadística no paramétrica.<sup>(11)</sup> En consecuencia, para investigar con cuál (o cuáles) de los métodos de interpolación propuestos en este estudio puede obtenerse mejor calidad de la imagen, fue seleccionada la prueba de Friedman, fijando el factor para disminuir la resolución por dos y por separado se reitera dicha prueba fijando el factor para disminuir la resolución por cuatro.

El nivel de significación con que se trabajó fue igual a 0,05.

Posteriormente fue necesario complementar con pruebas post-hoc de los rangos con signo de Wilcoxon ya que se trabaja con muestras pareadas, lo que implica tener en cuenta el ajuste de Bonferroni para calcular el nuevo nivel de significación (en este caso equivale a dividir el valor de significación que se usa inicialmente de 0.05 entre la cantidad de variables que se comparan  $0.05/3=0.01666$   $p=0.017$ ).<sup>(12)</sup> La hipótesis nula establece que las muestras corresponden a una distribución con diferencia de medianas igual a cero (las dos distribuciones de probabilidad de la

población son idénticas). La hipótesis alternativa, por el contrario, establece que las muestras no corresponden a una distribución con diferencia de medianas igual a cero.

## Resultados

En la investigación fueron propuestas las siguientes combinaciones de métodos para aplicar en los experimentos. El cambio de resolución utilizado fue igual en filas y columnas:

- 1) Baja resolución por dos, interpolación bilineal.
- 2) Baja resolución por dos, interpolación bicúbica.
- 3) Baja resolución por dos, interpolación mediante splines.
- 4) Baja resolución por cuatro, interpolación bilineal.
- 5) Baja resolución por cuatro, interpolación bicúbica.
- 6) Baja resolución por cuatro, interpolación mediante splines.

### Resultados de la comparación de los efectos de la interpolación

Como resultado de lo descrito en la sección anterior se conformaron 6 tablas. A continuación en la Tabla 1 se muestra, a modo de ejemplo, una parte del modelo de tabla utilizado, este caso particular con los datos de la combinación interpolación mediante splines (spl\_interp\_color) y baja resolución X2. Se pueden observar los valores de la relación señal-ruido (SNR), el error medio cuadrático (MSE) y la media del tiempo que demora interpolar con el ciclo for (T;s) para cada una de las imágenes seleccionadas.

**Tabla 1-**Resultados de los efectos de la interpolación (splines, x2) para las 10 imágenes utilizadas en el estudio

Imágenes reales	SNR	MSE	T
BasophilicStippling R	37,784	3,82E-04	0,742
Elliptocyte R	35,876	5,19E-04	0,754
Howell-Jolly s body R	40,217	2,18E-04	0,745
Leptocyte R	39,332	2,76E-04	0,772
Malaria R	36,297	4,61E-04	0,727
Pappenheimer s body R	39,664	2,50E-04	0,752
Poikilocyte R	38,119	3,46E-04	0,724
Spherocyte R	36,196	5,25E-04	0,744
TearDropCell R	35,597	5,42E-04	0,75
Thalasemia R	36,420	5,13E-04	0,733

### Resultados del análisis estadístico

En este apartado se muestran los resultados de las pruebas estadísticas realizadas a los 6 métodos para los valores correspondientes a las variables SNR, MSE y T.

Se aplicó la prueba de Friedman de forma independiente a los valores de las columnas correspondientes al MSE, a la SNR y a T, empleando factores 2 y 4, obteniéndose así 6 tablas de las cuales se muestra un ejemplo en la Tabla 2 para el MSE (que tiene como complemento la Tabla 3), resultando que, como se puede observar, hay diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de interpolación.

**Tabla 2-**Prueba de Friedman: rangos, MSE

	Rango promedio
x2_splines	2,00
x2_bilineal	3,00
x2_bicúbico	1,00

**Tabla 3**-Estadísticos de contraste (a)

<b>N</b>	<b>10</b>
Chi-cuadrado	20,000
gl	2
Sig. asintót.	,000
Sig. Exacta	,000
Probabilidad en el punto	,000

a: Prueba de Friedman

Para conocer si hay diferencias estadísticamente significativas entre los métodos empleados tomados por pares, se aplicó la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon como test post-hoc, en la que se comparan el método de interpolación bicúbica con respecto al bilineal, bilineal respecto a splines y bicúbica con splines, como muestra la Tabla 4, donde se obtiene, teniendo en cuenta el nuevo valor  $p=0.017$  (según corrección de Bonferroni), que en todos los casos hay diferencias estadísticamente significativas, según se muestra en la Tabla 5 que complementa la Tabla 4. Por tanto el mejor método en este caso para obtener una mejor calidad de la imagen resultó ser el bicúbico.

**Tabla 4**-Prueba de Wilcoxon, MSE

		<b>N</b>	<b>Rango promedio</b>	<b>Suma de rangos</b>
x2_bicúbico - x2_bilineal	Rangos negativos	10 <sup>a</sup>	5,50	55,00
	Rangos positivos	0 <sup>b</sup>	,00	,00
	Empates	0 <sup>c</sup>		
	Total	10		
x2_bicúbico - x2_splines	Rangos negativos	10 <sup>d</sup>	5,50	55,00
	Rangos positivos	0 <sup>e</sup>	,00	,00
	Empates	0 <sup>f</sup>		
	Total	10		
x2_bilineal - x2_splines	Rangos negativos	0 <sup>g</sup>	,00	,00
	Rangos positivos	10 <sup>h</sup>	5,50	55,00
	Empates	0 <sup>i</sup>		
	Total	10		

a. x2\_bicúbico < x2\_bilineal ; d. x2\_bicúbico < x2\_splines; h. x2\_bilineal > x2\_splines



**Tabla 5-**Estadísticos de contraste, prueba de Wilcoxon.

	x2_bicúbico - x2_bilineal	x2_bicúbico- x2_splines	x2_bilineal - x2_splines
Z	-2,803b	-2,803b	-2,803c
Sig. asintót. (bilateral)	,005	,005	,005
Sig. exacta (bilateral)	,002	,002	,002
Sig. exacta (unilateral)	,001	,001	,001
Probabilidad en el punto	,001	,001	,001

De igual forma, se aplicó la prueba de Friedman a los valores de la columna correspondiente al MSE fijando el factor 4, resultando que, hay diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de interpolación. Al aplicar el test post-hoc como se describió anteriormente resultó ser el bicúbico el mejor método de interpolación.

Igual resultados a los anteriores se obtuvieron al repetir el procedimiento descrito a los valores de la columna correspondiente a la SNR, por separado para factores 2 y 4.

Para el caso de los tiempos registrados se procedió de manera similar, se aplicó la prueba de Friedman a los valores de la columna T fijando el factor 2, resultando que hay diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de interpolación. Para conocer cuáles son las diferencias se aplicó la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon como test post-hoc, en la que se comparan el método de interpolación bilineal con respecto al bicúbico, bilineal con splines y bicúbico con splines, donde se obtiene, teniendo en cuenta el nuevo valor  $p=0.017$  (según corrección de Bonferroni) que hay diferencias estadísticamente significativas. Por tanto el mejor método en este caso atendiendo a la rapidez resultó ser el bilineal.

De igual forma, se procedió para los valores de la columna T fijando el factor 4, resultando que, hay diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de interpolación y que al aplicar el test post-hoc el método más rápido resultó ser igualmente el bilineal.

En la Tabla 6 se muestra un resumen con los rangos promedio obtenidos para cada una de las pruebas de Friedman realizadas (según se ha descrito anteriormente). Se tuvo en cuenta para su análisis que en el caso de las variables MSE y T el menor rango es el mejor y para la variable SNR el mayor rango es el mejor (reflejado en la Tabla 7). Para todos los casos las diferencias fueron estadísticamente significativas.



**Tabla 6-Rangos, Resumen estadístico de la prueba de Friedman.**

	SNR x2	MSE x2	T x2	SNR x4	MSE x4	T x4
Splines	2	2	3	1	3	3
Bilineal	1	3	1	2	2	1
Bicúbico	3	1	2	3	1	2

La Tabla 7 muestra los valores promedio de las variables T, MSE Y SNR para las 10 imágenes estudiadas según los 6 métodos propuestos (producto de la combinación de los 3 métodos de interpolación y 2 factores analizados).

**Tabla 7-Valores promedio de las variables T, MSE Y SNR para las 10 imágenes estudiadas.**

	splines x2	bicúbico x2	bilineal x2	splines x4	bicúbico x4	bilineal x4
T	0,744	0,092	0,078	0,494	0,07	0,06
MSE	4,03E-04	2,85E-04	4,45E-04	1,92E-03	1,27E-03	1,61E-03
SNR	37,55	39,066	37,144	30,823	32,616	31,589

## Discusión

Al aplicar la prueba de Friedman a los valores de la columna correspondiente al MSE fijando el factor 2, se obtienen diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de interpolación. De igual manera ocurre si se fija el factor 4, así como repitiendo dicha prueba para la columna correspondiente a la SNR a los factores por 2 y por 4 separadamente.

Las pruebas descritas anteriormente fueron complementadas con la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon como test post-hoc para los factores por 2 y por 4 separados, resultando que, entre el método bicúbico y splines y entre el método bicúbico y bilineal hay diferencias estadísticamente significativas a favor del primero, tanto para el MSE como para la SNR. Por tanto las pruebas post-hoc confirman el resultado de la prueba de Friedman en el sentido de que el mejor método en este caso para obtener una mejor calidad de la imagen es el bicúbico.

En el caso de aplicar la prueba de Friedman al valor medio del tiempo (T) que demora interpolar por separado para factor 2 y 4, se obtiene que hay diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de interpolación. La prueba de los rangos con signo de Wilcoxon como test post-hoc confirma que el método bilineal tiene diferencias estadísticamente significativas respecto a bicúbico y splines, por lo que puede considerarse el más rápido de los tres utilizados, no obstante no haber resultado el mejor con respecto a su efecto sobre la calidad de la imagen.

En la Tabla 7 se muestran los tiempos promedio según los diferentes métodos de interpolación



y factor utilizados y aunque estadísticamente hay diferencias significativas entre el método bilineal y los demás en cuanto a la rapidez, se observa que si bien el tiempo registrado durante el método de interpolación por splines es notablemente superior a los otros dos métodos estudiados, el método bicúbico es solo ligeramente inferior al bilineal (es decir, su ejecución toma un tiempo solo ligeramente mayor), lo cual lo reafirma como el método de elección entre los tres sometidos a este análisis.

En cuanto al MSE y la SNR hay diferencias estadísticamente significativas entre el método bicúbico y los demás en cuanto a la calidad de la imagen. De modo que se puede apreciar en la Tabla 7 la mayor SNR para dicho método de interpolación, así como el menor MSE. Sin embargo no se aprecian grandes diferencias en las magnitudes de estas variables (SNR y MSE) entre los métodos de interpolación splines y bilineal.

## Conclusiones

Teniendo en cuenta la posible conveniencia de interpolar una imagen digital para mejorar la resolución de esta, se realizó un estudio comparativo de los efectos de la interpolación sobre la calidad de las imágenes de microscopía celular de frotis de sangre humana, utilizando los métodos de interpolación bilineal, bicúbico y splines, empleando como medidas objetivas de calidad la relación señal a ruido y el error medio cuadrático. Se encontró, utilizando pruebas estadísticas no paramétricas, que el método bicúbico de interpolación fue el de mejor comportamiento para mejorar la resolución de las imágenes con menor afectación de la calidad, medida mediante la comparación de la imagen interpolada con respecto a una imagen de alta resolución de referencia. En cuanto a la eficiencia computacional, se encontró que el método bilineal de interpolación fue el que menos tiempo consumió, aunque el tiempo requerido por el método bicúbico fue solo ligeramente superior que aquel, siendo ambos notablemente más rápidos que el método splines. Los resultados de este estudio indican que el método de interpolación bicúbico arrojó integralmente los mejores resultados para esta aplicación, de entre los tres métodos estudiados.

## Referencias

1. González RC, Woods RE. Digital image processing. 4 ed. England: Pearson Education Inc; 2018.
2. Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. Digital image processing using MATLAB. 3rd ed. USA: Gatesmark Publishing; 2020.
3. Russ JC. The image processing handbook. 6th ed. USA: CRC Press; 2011.

Este documento está bajo [Licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



4. Pratt WK. Digital Image Processing: PIKS Inside. Third Edition ed. USA: John Wiley & Sons; 2001.
5. Sung Cheol P, Min Kyu P, Moon Gi K. Super-resolution image reconstruction: a technical overview. IEEE Signal Processing Magazine. 2003 May;20(3).
6. Oppenheim AV, Schafer RW, Buck JR. Discrete-time signal processing. 3rd ed. USA: Prentice Hall; 2009.
7. Proakis JG, Manolakis DG, del Rio VS, Castro JLA. Tratamiento digital de señales: USA: Prentice Hall; 2000.
8. Ichihashi T, et al. Atlas of Hematology. Japan: Nagoya University School of Medicine; 1996 Dec [cited 2021 Mar 19]. Available from: <http://www3.med.unipmn.it/did/will/atlashem/index.htm>.
9. The MathWorks Group. Image Processing Toolbox For Use with MATLAB. User's Guide Version 3. USA: The MathWorks Inc; 2001 [cited 2021 Mar 19]. 775 p. Available from: [https://cis.temple.edu/~latecki/Courses/CIS581-02/MatCIS581-02/Matlab\\_images\\_tb.pdf#G4.2178](https://cis.temple.edu/~latecki/Courses/CIS581-02/MatCIS581-02/Matlab_images_tb.pdf#G4.2178).
10. Rosenberger C, Chabrier S, Laurent H, Emile B. Unsupervised and supervised image segmentation evaluation. In: Advances in image and video segmentation. USA: IGI Global; 2006 [cited 19 Mar 2021]. 365-93. Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Christophe-Rosenberger/publication/257365161\\_Unsupervised\\_and\\_Supervised\\_Image\\_Segmentation\\_Evaluation/links/02e7e53597053b83f6000000/Unsupervised-and-Supervised-Image-Segmentation-Evaluation.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christophe-Rosenberger/publication/257365161_Unsupervised_and_Supervised_Image_Segmentation_Evaluation/links/02e7e53597053b83f6000000/Unsupervised-and-Supervised-Image-Segmentation-Evaluation.pdf).
11. Walpole RE, Myers RH, Myers SL, Ye K. Probabilidades y estadística para ingeniería y ciencias. 9na ed. México: Pearson Educación; 2012 [cited 19 Mar 2021]. p. 816. Disponible en: [https://vereniciafunez94hotmail.files.wordpress.com/2014/08/8va-probabilidad-y-estadistica-para-ingenier-walpole\\_8.pdf](https://vereniciafunez94hotmail.files.wordpress.com/2014/08/8va-probabilidad-y-estadistica-para-ingenier-walpole_8.pdf).
12. Demsar J. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. Journal of Machine Learning Research. 2006;7:1-30.

### Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### Contribuciones de los autores

Arianny Coca Rodriguez: Ingeniera Biomédica, Máster en Señales y Sistemas Mención Ingeniería Biomédica, Profesora Asistente. Realizó los experimentos y recolección de datos, realizó el procesamiento estadístico, interpretación de resultados, redacción del informe investigativo.

Juan Valentín Lorenzo Ginori: Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular Consultante y Emérito. Diseñó el estudio, seleccionó la muestra, interpretación de resultados y revisión crítica del manuscrito. [juanl@uclv.edu.cu](mailto:juanl@uclv.edu.cu)

Este documento está bajo [Licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

