



Universidad Autónoma del Estado de México
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEXCOCO

“Segmentación de leucocitos en imágenes del plasma sanguíneo
utilizando información de la intensidad”

T E S I S

Que para obtener el título en ingeniero en computación

PRESENTA

ADRIAN BORGONIO GUERRERO

ASESOR

DR. FARID GARCIA LAMONT

REVISORES

DR. JAIR CERVANTES CANALES

DR. JOSE SERGIO RUIZ CASTILLA

TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO, SEPTIEMBRE 2026

Agradecimiento

Dedico un agradecimiento muy grande a mis padres, que me han apoyado y han tenido la paciencia para dejar que poco a poco avance en mis objetivos.

Un agradecimiento a mi director de tesis por apoyarme cada vez que busque ayuda y por orientarme en el proceso para este trabajo.

Contenido

Lista de figuras	IV
Lista de tablas.....	V
Introducción	1
1.1 Definición del problema	4
1.2 Propuesta de solución.....	5
1.3 Objetivos y alcance del proyecto	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Hipótesis.....	9
2 Estado del arte	11
3 Propuesta de segmentación.....	16
3.1 Espacio de color RGB.....	18
3.2 Método de Otsu	19
3.3 Operaciones morfológicas	21
4 Experimentos y resultados.....	24
4.1 Base de imágenes.....	25
4.2 Implementación en Matlab.....	26
4.3 Evaluación de la segmentación	28
5 Discusión	40
5.1 Condiciones de iluminación	41
5.2 Alcances de la propuesta	42
6 Conclusiones.....	45
Referencias	47
Apéndice A: Código fuente.....	51
Apéndice B: Imágenes obtenidas	57

Lista de figuras

Fig. 1 Imagen de plasma sanguíneo¹

Fig. 2 Imagen en escala de grises²

Fig. 3 Imagen en escala de grises³

Fig. 4 Diagrama de flujo del enfoque propuesto¹⁷

Fig. 5 Espacio de color RGB¹⁸

Fig. 6 Mascara empleada para las operaciones de erosión y dilatación²²

Fig. 7 Imagen ejemplo de la base ALL-IDB²⁵

Fig. 8 Imagen original o de entrada de células⁴²

Fig. 9 Imagen segmentada obtenida⁴³

Lista de tablas

Tabla 1 Resultados promedio obtenidos al evaluar el desempeño del algoritmo con las métricas descritas²⁹

Tabla 2 Verdaderos positivos, falsos positivos, verdaderos negativos y falsos negativos obtenidos³⁰

Tabla 3 Resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa con las métricas de exactitud, especificidad, precisión, sensibilidad y f-score³⁴

Introducción

La biometría es una disciplina que emplea diferentes técnicas para medir o extraer parámetros de ciertas características de los seres vivos; una de esas técnicas es para el conteo y clasificación de células blancas (CB) de muestras de plasma sanguíneo de seres humanos. El conteo y clasificación de CB es importante para que los médicos puedan determinar posibles infecciones en los pacientes y así ayudar a obtener un diagnóstico de la posible infección que puedan tener los pacientes.

Para el conteo y clasificación de CB un técnico en biometría extrae una muestra de plasma sanguíneo; aplica un reactivo a dicha muestra para que las CB se vuelvan visibles; esta muestra es analizada bajo un microscopio, en donde el técnico cuenta y clasifica, manualmente, las CB contenidas en la muestra. En la **Fig. 1** se muestra un ejemplo de una imagen de plasma sanguíneo, en donde claramente se pueden apreciar las CB en color púrpura mientras, y los demás elementos del plasma con otras tonalidades, pero más claras que las de las CB.

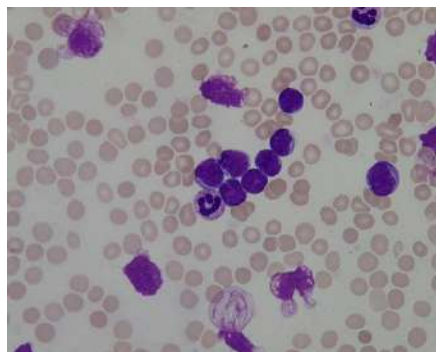


Fig. 1 Imagen de plasma sanguíneo

Este proceso usualmente es lento además de que el técnico con el tiempo se fatiga y puede cometer errores de conteo y clasificación si tiene que analizar muchas muestras. Si se implementa un sistema de visión artificial para el conteo y clasificación de CB, se puede aumentar el número de muestras analizadas, manteniendo el mismo desempeño y precisión. Además, al realizar esta lo más rápido posible es importante para prevenir que la infección se expanda y así dar más tiempo a los médicos para estudiar y dar un diagnóstico acertado.

De esta forma, en este trabajo se presenta una propuesta para la segmentación de CB de imágenes del plasma sanguíneo. Normalmente en las imágenes del plasma sanguíneo, las CB son más oscuras que los demás elementos del plasma. La Fig. 2 se obtiene al convertir en escala de grises la imagen de la Fig. 1. Es fácil observar que las CB son más oscuras que el resto de los elementos que se encuentran en el plasma sanguíneo.

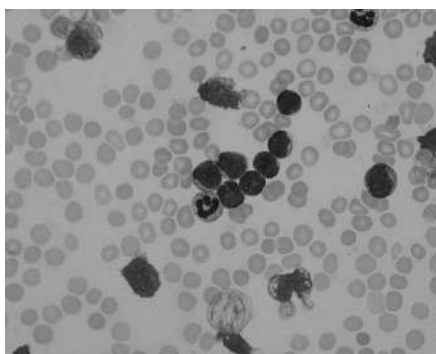


Fig. 2 Imagen en escala de grises

De aquí que se propone segmentar las CB utilizando información de la intensidad de los vectores de color de la imagen, en donde se aplica el método de Otsu, adaptándolo a los niveles de intensidad que conlleva calcular las magnitudes de los

vectores de color representados en el espacio RGB, que en este caso el rango es $[0, 255\sqrt{3}]$. Posteriormente, en las imágenes binarizadas se aplican determinadas operaciones morfológicas para mejorar la segmentación de CB.

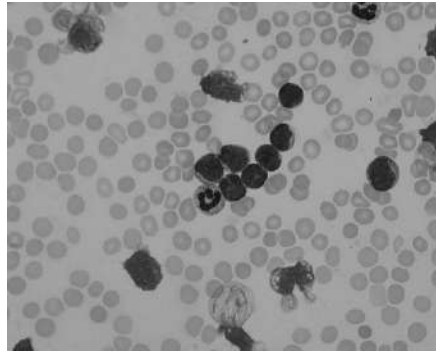


Fig. 3 Imagen en escala de grises

1.1 Definición del problema

Existen diferentes algoritmos para la segmentación de CB que están implementados en dispositivos automatizados, pero no siempre se pueden conocer su funcionamiento debido a restricciones de derechos de autor. Por una parte, existen en el estado del arte varios algoritmos, pero por una parte demandan que las imágenes sean capturadas bajo ciertas condiciones controladas; por otra parte, en otros trabajos se presentan técnicas que pueden ser costosas computacionalmente y en consecuencia tomar tiempo en procesar imágenes.

En este trabajo se propone implementar un sistema de visión artificial para la segmentación de CB, en donde con técnicas de procesamiento de imágenes de bajo costo computacional se puedan procesar las imágenes en tiempos razonables. Con esto se ayudará a evitar que alguna infección se expanda y así dar más tiempo a los médicos para estudiar y dar un diagnóstico acertado.

1.2 Propuesta de solución

De aquí que se propone segmentar las CB utilizando información de la intensidad de los vectores de color de la imagen, en donde se aplica el método de Otsu, adaptándolo a los niveles de intensidad que conlleva calcular las magnitudes de los vectores de color representados en el espacio RGB, que en este caso el rango es $[0, 255\sqrt{3}]$. Posteriormente, en las imágenes binarizadas se aplican determinadas operaciones morfológicas para mejorar la segmentación de CB.

1.3 Objetivos y alcance del proyecto

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de visión artificial para la segmentación y conteo de células blancas en imágenes del plasma sanguíneo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el método de segmentación
- Diseñar la técnica para la separación de células que estén sobrepuestas
- Implementar el método de segmentación y de separación en Matlab
- Implementar la técnica de etiquetado de imágenes binarias

1.4 Hipótesis

Normalmente en las imágenes del plasma sanguíneo, las CB son más oscuras que los demás elementos del plasma. Si se utiliza información de la intensidad de los vectores de color de la imagen, representados en el espacio RGB, se pueden separar las CB del resto de los elementos del plasma sanguíneo, si se calcula un umbral que permita maximizar la varianza entre dos poblaciones de intensidades; donde una población representa las intensidades de los píxeles que conforman las CB y la otra población corresponde a las intensidades de los píxeles que conforman los demás elementos del plasma sanguíneo.

2 Estado del arte

La segmentación de imágenes es una forma útil de separar los objetos de interés de otros, hay diferentes técnicas para este cometido. El que se utilizara para este trabajo es la umbralización, la cual consiste en una técnica de segmentación simple y eficiente que permite separar los píxeles de la imagen en escala de grises en dos categorías a partir de un una ventana o borde umbral [3].

El método que se utilizara para elegir un umbral adecuado con el cual segmentar las imágenes será el método de Otsu, el cual elige un umbral que minimiza la varianza intraclase de los píxeles en blanco y negro con umbral. El umbral global se puede utilizar para convertir una imagen en escala de grises en una imagen binaria [1].

Matlab es un entorno de desarrollo que se especializa en programación y calculo numérico, usado para analizar datos, crear algoritmos y crear modelos [4]. Todo orientado al uso de valores numéricos y matrices dentro de su entorno de programación.

La palabra morfología comúnmente denota una rama de la biología. Usamos la misma palabra en el contexto la morfología matemática como una herramienta para extraer componentes de imagen que son útiles en la representación y descripción de la forma de la región, como como límites, esqueletos y el casco convexo [2].

Referente a la segmentación de células blancas varios trabajos relacionados abordan problemas similares de diferentes formas, inclusive solo teniendo como

tarea su identificación para tareas como su conteo. Y algunos de ellos centrándose en diferentes características tanto de imágenes como de las mismas células.

En [5] habla de técnicas de segmentación en base al color, habla sobre factores a tomar en cuenta al segmentar imágenes, por ejemplo se implementó filtros morfológicos en imágenes con ruido. Algunas de las consideraciones que se toman en cuenta al segmentar células en imágenes a color es la corrección de color [5] puesto que puede influir la intensidad de luz o el dispositivo con el que se tomó la imagen, haciendo que no segmente correctamente o se confunda identificando las células.

Otras técnicas en relación a la segmentación de células se expone en [19] que aborda tomar como principal característica la forma elíptica que pueden tener dichas células, abordan esta tarea como un problema de optimización y usan un algoritmo de evolución diferencial para construir la aproximación elipsoidal, para esto se pre procesan las imágenes con un algoritmo de detección de bordes y obtener una imagen de mapa de bordes con la cual empezar a detectar las elipses. Por otra parte también pueden detectarse glóbulos blancos y glóbulos rojos por medio de otras estructuras como se muestra en [20] que detecta las células usando estructuras circulares por medio de un algoritmo iterativo pudiendo así segmentar y contarlas, la segmentación se realiza con ayuda del método de umbralización y operaciones morfológicas mientras que el conteo se hace por medio de la característica de su forma circular que se extrajo del algoritmo iterativo.

Los sistemas con visión artificial, pueden ayudar en diversas labores que normalmente se realizan manualmente, puesto que información de las características de una célula pueden ayudar en la detección de enfermedades, algoritmos como el presentado en [18] que clasifican las células basadas en las características de los núcleos. O como en [13] donde realizan un Sistema de conteo automático para leucocitos basándose en las características de las células y de las imágenes, para poder darles un pre procesamiento a escala de grises, después la segmentación se hace por medio de una técnica de máquinas de soporte vectorial (SVM) seguido de su correspondiente conteo de células blancas WBC.

En [12] proponen un método para reconocer glóbulos blancos de imágenes de microscopios y las clasifican según si estas afectadas por la leucemia o no para ahorrar tiempo con respecto a las revisiones y conteos manuales que se hacen pensando en automatizar esa parte del proceso. Se aplican técnicas de procesamiento de imágenes para poder distinguir mejor las células de interés por medio de una conversión del espacio de color RGB de la imagen a HSV para una mejor conversión a escala de grises, después se hizo uso de un algoritmo Watershed (en español: línea divisoria de aguas) para la segmentación.

Otros métodos como los propuestos en [16] exponen el uso de imágenes hiperespectrales de la sangre para extraer la información espectral y morfológica de dichas imágenes y aumentar la precisión en la segmentación y clasificación de los glóbulos blancos. En [17] también hacen uso de imágenes hiperespectrales para

segmentar glóbulos blancos con la información espacial y espectral que proporcionan en dichas imágenes, utilizan una combinación de ACM (active contour models) y ISAM (improve spectral angle mapper) como algoritmo espacial-espectral para la segmentación de glóbulos blancos.

El uso de redes neuronales también se puede abordar para esta clase de tareas, como se habla en [22] donde hacen uso de ResNet (Residual neural network) y UNet para extraer características y segmentar leucocitos mediante un proceso de revisión pixel a pixel donde este es etiquetado y categorizado en un grupo predeterminado, dicha tarea de etiquetado ayudara para el reconocimiento de que tipo de leucocito se encuentran en la muestra de sangre que pase por este modelo. En [14] proponen el conteo de glóbulos blancos por medio de una Red neuronal convolucional para su identificación y conteo.

Es importante identificar los parámetros a utilizar cuando se segmenta por umbralizacion, como lo explican en [21] donde tratan de encontrar el mejor parámetro de umbralizacion en diferentes imágenes.

3 Propuesta de segmentación

El conteo de células de forma manual, es algo fácil de realizar por que el ser humano sabe identificar objetos de interés de los demás, para poder usar un sistema de visión artificial el principal objetivo para su conteo seria el separar los objetos de interés respecto a los demás. Por eso se propone un método de segmentación, para separar las células de interés y hacer un conteo de estas, el otro punto a considerar es como poder hacer el conteo de dichos objetos una vez segmentados y que sean lo más precisos posibles, en esta parte se harían uso de operaciones morfológicas en la imagen segmentada para mejorar la precisión del conteo.

Los pasos de la propuesta se resumen a continuación, ver Fig. 4:

- (1) Se recibe la imagen con colores representados en el espacio RGB.
- (2) Se convierte la imagen a escala de grises al calcular las magnitudes de los vectores de color de cada pixel, utilizando la métrica Euclidiana.
- (3) Se binariza la imagen de escala de grises utilizando el método de Otsu.
- (4) Se aplican las operaciones de erosión y dilatación a la imagen binarizada.
- (5) Se emplea el método de etiquetado de pixeles para poder contar las células blancas.

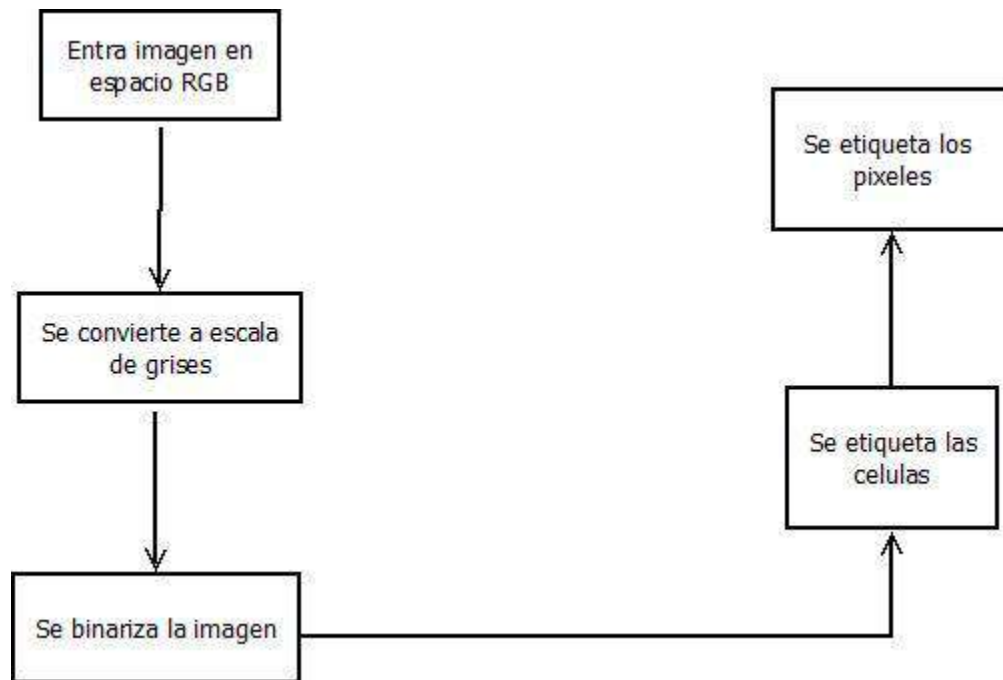


Fig. 4 Diagrama de flujo del enfoque propuesto

3.1 Espacio de color RGB

El espacio de color RGB se basa en el sistema Cartesiano de coordenadas en donde los colores son puntos definidos por vectores que se extienden desde el origen [10], donde el color negro está ubicado en el origen y el blanco en la esquina contraria al origen, como se muestra en la Fig. 5.

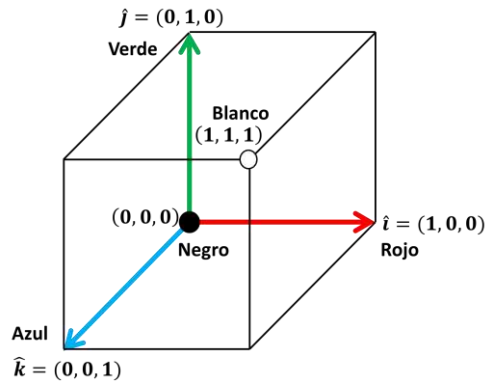


Fig. 5 Espacio de color RGB

El color de un pixel p es una combinación lineal de los vectores base rojo, verde y azul, los cuales se pueden escribir como:

$$\phi_p = r_p \hat{i} + g_p \hat{j} + b_p \hat{k} \quad (1)$$

Donde los escalares r , g y b son los componentes de rojo, verde y azul, respectivamente. El rango de valores de cada componente es $[0,255] \subset \mathbb{R}$. La orientación y magnitud de un vector de color definen la cromaticidad y la intensidad del color, respectivamente [10].

3.2 Método de Otsu

Los métodos de umbralización miden la intensidad de la luz, para este trabajo el método de Otsu utiliza la varianza en los niveles de intensidad de gris, que estarán presentes en la imágenes una vez se conviertan a escalas de grises, siendo la varianza un punto de referencia para poder segmentar CB de las demás células.

El algoritmo busca exhaustivamente el valor del umbral que minimiza la varianza intra-clase, definida como una suma de varianzas ponderadas de dos clases [1].

Esto es

$$\underset{t}{\operatorname{argmin}} \sigma_w^2(t) \quad (2)$$

En donde

$$\sigma_w^2(t) = \omega_0(t)\sigma_0^2(t) + \omega_1(t)\sigma_1^2(t) \quad (3)$$

Las ponderaciones ω_0 y ω_1 son las probabilidades de las clases separadas por un umbral t , y σ_0^2 y σ_1^2 son las varianzas de estas dos clases. La probabilidad de clase $\omega_{0,1}(t)$ es calculada a partir de los L valores que contiene el histograma:

$$\omega_0(t) = \sum_{i=0}^{t-1} p(i) \quad (4)$$

$$\omega_1(t) = \sum_{i=t}^{L-1} p(i) \quad (5)$$

Para minimizar la varianza entre 2 clases es equivalente a maximizar la varianza entre clases.

$$\sigma_b^2(t) = \omega_0(t)\omega_1(t)[\mu_0(t) - \mu_T(t)]^2 \quad (6)$$

Cual esta expresado en términos de la probabilidad de clase ω y media de clase μ .

$$\mu_0(t) = \frac{1}{\omega_0(t)} \sum_{i=0}^{t-1} ip(i) \quad (7)$$

$$\mu_1(t) = \frac{1}{\omega_1(t)} \sum_{i=0}^{t-1} ip(i) \quad (8)$$

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip(i) \quad (9)$$

En el espacio RGB la magnitud del vector más largo es de $255\sqrt{3} \approx 441.679$. Si se redondea este valor y aplicando el método de Otsu, se tiene que $L = 442$. Por lo tanto, el intervalo de valores que se emplearan para los niveles de intensidad será de $[0,441]$.

3.3 Operaciones morfológicas

Las operaciones morfológicas se encargan de tratar una imagen para alterar alguna de sus características, esta alteración puede ser utilizada para diferentes cosas desde desaparecer pequeños pixeles de la imagen hasta agrandar el tamaño de los elementos en la imagen, aunque originalmente esa no sea su función específica. Aquí se harán uso de 2 operaciones morfológicas en las imágenes que son: Erosión y Dilatación.

La erosión prueba una imagen con una forma predefinida simple sacando conclusiones sobre cómo esta forma encaja o no las formas en la imagen. Sea E un espacio euclidiano o una cuadrícula entera y A una imagen binaria en E . La erosión de la imagen binaria A por el elemento estructurante E está definida por [10]:

$$A \ominus B = \{z \in E \mid B_z \subseteq A\} \quad (10)$$

Donde B_z es la traslación de B por el vector z , esto es, $B_z = \{b + z \mid b \in B\}, \forall z \in E$

La dilatación aumenta o engrosa los objetos de una imagen binaria. La forma en que se engrosan los objetos depende de un elemento estructural. Matemáticamente [10]:

$$A \oplus B = \{z \mid \exists (b \in B) \text{ tal que } z \in b + A\} \quad (11)$$

En donde $A \oplus B$ denota la operación de dilatación [2].

A continuación se muestra en la Fig. 6 la matriz (estructura) o mascara utilizada para ambas operaciones de dilatación y erosión:

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Fig. 6 Mascara empleada para las operaciones de erosión y dilatación

4 Experimentos y resultados

En este capítulo se describirán los elementos que se utilizaron en los experimentos del algoritmo y sus resultados, que contiene la precisión en el conteo de células, tiempo de ejecución del algoritmo en la segmentación de las imágenes y conteo.

Para dicha tarea se programara un algoritmo en el entorno de desarrollo Matlab que se encargara de segmentar las imágenes de la células y su conteo, en el algoritmo se codifica todas las partes de dicho proceso.

4.1 Base de imágenes

Como base de datos de la cual el algoritmo hará las pruebas para la segmentación y conteo de las células, se utilizara la base de imágenes ALL-IDB, del Departamento de Tecnologías de la Información de la Universidad de Milán, la cual contiene 108 imágenes de color de muestras de sangre, que se divide en dos conjuntos: el primer conjunto se conforma de 33 imágenes de tamaño 1368×1712 pixeles; el segundo conjunto contiene 75 imágenes de tamaño 1944×2592 pixeles.

En el ALL-IDB las imágenes son capturadas con diferentes escalas, brillo y tonalidades del teñido de las células, lo cual lo vuelve complicado. En la Fig. 7 se muestra un ejemplo de las imágenes que conforman el ALL-IDB.

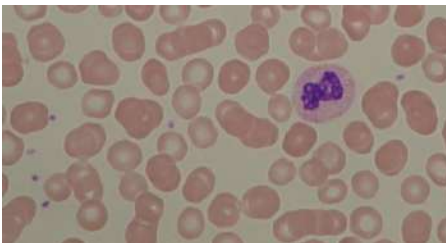


Fig. 7 Imagen ejemplo de la base ALL-IDB

4.2 Implementación en Matlab

El entorno de desarrollo Matlab tiene un método que permite cargar una imagen dentro de su entorno, el cual es `imread()` dentro de sus paréntesis se especifica la dirección de la imagen que se quiere cargar, asignándola a una variable que guardara la imagen en forma de matriz que representa sus pixeles, quedando de la siguiente forma:

```
imgEnt = imread('imagenesCelulas\Im001_0.jpg');
```

Variable Método Dirección de imagen

Las imágenes que se utilizarán para las pruebas serán imágenes a color, por esta razón se tendrá que calcular una corrección tomando en cuenta las capas RGB (red, green, blue) del color según la siguiente ecuación:

$$\|\phi_p\| = \sqrt{r^2 + g^2 + b^2} \quad (12)$$

Quedando codificado en Matlab de la siguiente forma:

```
imgEntR = double(imgEnt(:,:,1)).^2;  
imgEntG = double(imgEnt(:,:,2)).^2;  
imgEntB = double(imgEnt(:,:,3)).^2;  
imgEntOp = sqrt(imgEntR + imgEntG + imgEntB);
```

El algoritmo codificado en Matlab realiza el cálculo de la varianza entre clases que el método Otsu requiere para segmentar, tomando en cuenta que la imagen a analizar y segmentar es originalmente a color y después transformada a una imagen en escala de grises. El siguiente proceso para mejorar el proceso de segmentación se aplicaran 2 operaciones morfológicas, la erosión y dilatación en ese orden Fig. Por último se etiquetaran los pixeles con el método `bwlabel()` perteneciente a Matlab para su conteo.

4.3 Evaluación de la segmentación

Para evaluar la calidad de la segmentación de las células, se compara la imagen obtenida con respecto a la respectiva imagen segmentada a mano por un experto y se contabiliza la cantidad de píxeles que coinciden entre ambas imágenes. Los píxeles dependiendo en como sean clasificados, se dividen de la siguiente forma:

	Clasificado como	Imagen de referencia
VP: Verdadero Positivo	Parte de la célula	Parte de la célula
VN: Verdadero Negativo	Parte de la célula	Parte del fondo
FP: Falso Positivo	Parte del fondo	Parte del fondo
FN: Falso Negativo	Parte del fondo	Parte de la célula

El desempeño del algoritmo de segmentación se calcula con las siguientes métricas.

Exactitud: Proximidad de concordancia entre el valor de una cantidad medida y un valor de cantidad real de un mensurando [11].

$$Ex = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (13)$$

Precisión: Proximidad de concordancia entre indicaciones o valores de cantidad medidos obtenidos por mediciones repetidas en la misma u objetos similares bajo condiciones específicas [11].

$$Pr = \frac{VP}{VP + FP} \quad (14)$$

La **sensibilidad** de una prueba representa la probabilidad de que un sujeto enfermo tenga un resultado positivo en la prueba [11].

$$Se = \frac{VP}{VP + FN} \quad (15)$$

La **especificidad** es el porcentaje de verdaderos negativos o la probabilidad de que la prueba sea negativa si la enfermedad no está presente. Los falsos positivos son sujetos sanos diagnosticados como enfermos [11].

$$Es = \frac{VN}{VN + FP} \quad (16)$$

El **f-score** es una medida del desempeño de la predicción.

$$f = \frac{2VP}{2VP + FP + FN} \quad (17)$$

En la Tabla 1 se muestra los resultados promedio obtenidos al comparar, y evaluar cuantitativamente, las imágenes segmentadas obtenidas con respecto a las imágenes segmentadas a mano por expertos.

Tabla 1 Resultados promedio obtenidos al evaluar el desempeño del algoritmo con las métricas descritas

Métrica	Valor
Exactitud	0.8642
Especificidad	0.8744
Precisión	0.3338
Sensibilidad	0.7766
f-score	0.4670

Tabla 2 Verdaderos positivos, falsos positivos, verdaderos negativos y falsos negativos obtenidos

Nombre de Archivo	VP: Verdadero Positivo	FP: Falso Positivo	VN: Verdadero Negativo	FN: Falso Negativo
Im002_1.jpg	194118	6517	2090615	50766
Im003_1.jpg	136399	4529	2163173	37915
Im004_1.jpg	117649	805	2177379	46183
Im005_1.jpg	283465	2056	1935346	121149
Im006_1.jpg	216125	13803	2032494	79594
Im007_1.jpg	109848	2231	2195816	34121
Im008_1.jpg	214063	10605	2047271	70077
Im009_1.jpg	113168	7591	2180123	41134
Im010_1.jpg	178541	1660	2098262	63553
Im011_1.jpg	186521	6409	2040925	108161
Im012_1.jpg	146550	17335	2141626	36505
Im013_1.jpg	102204	11907	2180432	47473
Im014_1.jpg	110606	8032	2203651	19727
Im015_1.jpg	185698	2532	2103764	50022
Im016_1.jpg	207209	20138	2072137	42532
Im017_1.jpg	40217	339902	1960324	1573
Im018_1.jpg	161790	4244	2129983	45999
Im019_1.jpg	211181	4443	2027197	99195
Im020_1.jpg	15608	403800	1921371	1237
Im021_1.jpg	25980	381380	1930611	4045
Im022_1.jpg	45989	343001	1944392	8634
Im023_1.jpg	53954	285443	1998091	4528
Im024_1.jpg	35773	333160	1968923	4160
Im025_1.jpg	28895	376180	1933185	3756
Im026_1.jpg	39104	350266	1948941	3705

lm027_1.jpg	24522	392213	1922995	2286
lm028_1.jpg	13648	367855	1959404	1109
lm029_1.jpg	40674	363581	1934293	3468
lm030_1.jpg	35152	336274	1930205	40385
lm031_1.jpg	20001	359747	1960787	1481
lm032_1.jpg	13587	435763	1892041	625
lm033_1.jpg	27857	423235	1888943	1981
lm034_0.jpg	14089	927993	4096432	334
lm035_0.jpg	9250	1086997	3942033	568
lm036_0.jpg	13939	1145050	3875805	4054
lm037_0.jpg	6803	190389	588038	14122
lm038_0.jpg	7527	1099263	3930974	1084
lm039_0.jpg	7837	1117774	3912187	1050
lm040_0.jpg	12127	1158636	3864901	3184
lm041_0.jpg	14507	1118476	3904232	1633
lm042_0.jpg	9878	1124312	3896322	8336
lm043_0.jpg	11545	971843	4054495	965
lm044_0.jpg	18690	1054919	3959392	5847
lm045_0.jpg	14329	1092404	3924789	7326
lm046_0.jpg	5810	1099062	3933168	808
lm047_0.jpg	16542	967653	4053443	1210
lm048_1.jpg	328701	107118	4443494	159535
lm049_1.jpg	275213	86105	4500416	177114
lm050_1.jpg	273802	190339	4470669	104038
lm051_1.jpg	245962	21988	4705033	65865
lm052_1.jpg	397892	17707	4358639	264610
lm053_1.jpg	383810	34147	4438552	182339
lm054_1.jpg	247776	199666	4517098	74308

lm055_1.jpg	334216	50947	4544071	109614
lm056_1.jpg	237740	143260	4362037	295811
lm057_1.jpg	254461	119143	4485440	179804
lm058_1.jpg	350620	66714	4377041	244473
lm059_1.jpg	441351	5839	4268192	323466
lm060_1.jpg	214666	157336	4582073	84773
lm061_1.jpg	415821	5949	4469244	147834
lm062_1.jpg	436304	9872	4415290	177382
lm063_1.jpg	335716	16133	4615486	71513
lm064_0.jpg	11444	928744	4096446	2214
lm065_0.jpg	21716	984969	4021065	11098
lm066_0.jpg	8466	1053936	3975523	923
lm067_0.jpg	17657	951315	4067210	2666
lm068_0.jpg	14638	1000163	4021092	2955
lm069_0.jpg	8240	1011902	4017521	1185
lm070_0.jpg	9194	935468	4091854	2332
lm071_0.jpg	9695	879776	4148969	408
lm072_0.jpg	5586	917032	4115705	525
lm073_0.jpg	9790	938774	4088370	1914
lm074_0.jpg	9337	918548	4109350	1613
lm075_0.jpg	13818	933827	4087271	3932
lm076_0.jpg	26469	824155	4186982	1242
lm077_0.jpg	9178	874798	4153342	1530
lm078_0.jpg	18555	1099164	3912462	8667
lm079_0.jpg	68512	882324	4030576	57436
lm080_0.jpg	14785	957601	4059568	6894
lm081_0.jpg	26116	838724	4168670	5338
lm082_0.jpg	19922	889517	4122561	6848

lm083_0.jpg	9514	966113	4062059	1162
lm084_0.jpg	28505	970188	4020058	20097
lm085_0.jpg	34067	806276	4193036	5469
lm086_0.jpg	22605	907206	4103030	6007
lm087_0.jpg	19613	1026838	3978907	13490
lm088_0.jpg	56842	962472	3996393	23141
lm089_0.jpg	17977	1111041	3902417	7413
lm090_0.jpg	62939	983140	3971705	21064
lm091_0.jpg	44697	884722	4101414	8015
lm092_0.jpg	21663	963391	4043864	9930
lm093_0.jpg	42616	948815	4001909	45508
lm094_0.jpg	30234	1124605	3876161	7848
lm095_0.jpg	65070	979196	3989263	5319

Tabla 3 Resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa con las métricas de exactitud, especificidad, precisión, sensibilidad y f-score

Nombre de Archivo	Exactitud (Ex)	Especificidad (Es)	Precisión (Pr)	Sensibilidad (Se)	f-score (f)
Im002_1.jpg	0.975541158	0.99689242	0.96751813	0.79269368	0.87142411
Im003_1.jpg	0.981877152	0.99791069	0.96786302	0.78249022	0.86536058
Im004_1.jpg	0.979936943	0.99963043	0.99320411	0.71810757	0.8335447
Im005_1.jpg	0.947393613	0.99893879	0.99279913	0.70058129	0.82147696
Im006_1.jpg	0.960121109	0.99325464	0.93996816	0.73084584	0.82231992
Im007_1.jpg	0.98447833	0.99898501	0.9800944	0.76299759	0.85802662
Im008_1.jpg	0.965550193	0.99484663	0.95279702	0.75337158	0.84142938
Im009_1.jpg	0.979195274	0.99653017	0.93713926	0.73341888	0.82285748
Im010_1.jpg	0.972155186	0.99920949	0.99078806	0.73748627	0.84557478
Im011_1.jpg	0.951080607	0.99686959	0.9667807	0.63295688	0.7650386
Im012_1.jpg	0.977011259	0.99197067	0.89422461	0.80057906	0.84481467
Im013_1.jpg	0.974645775	0.99456881	0.89565423	0.68283036	0.77489499
Im014_1.jpg	0.988147391	0.99636838	0.93229825	0.84864156	0.88850509
Im015_1.jpg	0.977560358	0.99879789	0.98654837	0.7877906	0.87603727
Im016_1.jpg	0.973241003	0.99037507	0.91142175	0.82969556	0.86864059
Im017_1.jpg	0.854196128	0.85223104	0.10580108	0.96235942	0.19064301
Im018_1.jpg	0.978547115	0.99801146	0.97443897	0.7786264	0.86559682
Im019_1.jpg	0.955748381	0.9978131	0.97939469	0.68040377	0.80296958
Im020_1.jpg	0.827056263	0.82633535	0.03721436	0.92656575	0.07155481
Im021_1.jpg	0.835430245	0.83504261	0.06377651	0.86527893	0.11879694
Im022_1.jpg	0.849857986	0.85004719	0.11822669	0.84193472	0.20733838
Im023_1.jpg	0.876187439	0.87499945	0.15897017	0.92257447	0.27120808

lm024_1.jpg	0.855970241	0.85527889	0.09696341	0.89582551	0.17498643
lm025_1.jpg	0.837773952	0.83710674	0.07133247	0.88496524	0.13202323
lm026_1.jpg	0.848860554	0.84765791	0.1004289	0.91345278	0.18096206
lm027_1.jpg	0.831555805	0.83059276	0.05884315	0.91472695	0.11057327
lm028_1.jpg	0.842458805	0.84193637	0.03577429	0.92484922	0.06888407
lm029_1.jpg	0.843276476	0.84177505	0.10061471	0.92143537	0.18141959
lm030_1.jpg	0.839173174	0.85163154	0.09464066	0.46536135	0.15729266
lm031_1.jpg	0.845761942	0.84497232	0.05266914	0.93105856	0.09969843
lm032_1.jpg	0.813669932	0.81280082	0.03023701	0.95602308	0.05861999
lm033_1.jpg	0.818440181	0.81695397	0.06175459	0.93360815	0.11584638
lm034_0.jpg	0.815766024	0.81530364	0.01495517	0.97684254	0.02945933
lm035_0.jpg	0.78416396	0.78385553	0.00843788	0.94214708	0.01672596
lm036_0.jpg	0.771951049	0.77194123	0.01202686	0.77469016	0.023686
lm037_0.jpg	0.744154015	0.7554183	0.03449937	0.3251135	0.06237937
lm038_0.jpg	0.781627269	0.78146894	0.00680075	0.8741145	0.01349649
lm039_0.jpg	0.777960359	0.77777681	0.00696244	0.88184989	0.0138158
lm040_0.jpg	0.769427456	0.76935852	0.0103582	0.79204494	0.02044898
lm041_0.jpg	0.777705341	0.77731614	0.01280425	0.8988228	0.02524882
lm042_0.jpg	0.775216875	0.77606175	0.0087093	0.54233008	0.01714329
lm043_0.jpg	0.806938411	0.80664989	0.01174003	0.92286171	0.02318511
lm044_0.jpg	0.789482437	0.78961835	0.01740857	0.76170681	0.03403919
lm045_0.jpg	0.781749717	0.78226789	0.01294712	0.66169476	0.02539729
lm046_0.jpg	0.781721933	0.78159544	0.00525853	0.87790873	0.01045444
lm047_0.jpg	0.807721328	0.80728251	0.01680764	0.93183867	0.03301971

lm048_1.jpg	0.947080563	0.97646075	0.75421448	0.67324204	0.71143168
lm049_1.jpg	0.947762068	0.98122651	0.76169192	0.60843814	0.67649405
lm050_1.jpg	0.941578512	0.95916355	0.58991126	0.72465065	0.65037572
lm051_1.jpg	0.982564864	0.99534844	0.91793991	0.78877711	0.84847105
lm052_1.jpg	0.943971916	0.99595393	0.95739403	0.60058989	0.73813492
lm053_1.jpg	0.957036608	0.99236546	0.91830021	0.67793107	0.7800176
lm054_1.jpg	0.945627651	0.95766886	0.55376116	0.76929	0.64397044
lm055_1.jpg	0.968135375	0.98891256	0.86772613	0.75302706	0.80631803
lm056_1.jpg	0.912862821	0.96820187	0.6239895	0.44558065	0.5199054
lm057_1.jpg	0.940671558	0.97412513	0.68109817	0.58595788	0.62995609
lm058_1.jpg	0.938242432	0.98498702	0.84014243	0.58918522	0.69263265
lm059_1.jpg	0.934646768	0.99863384	0.98694291	0.57706746	0.72829777
lm060_1.jpg	0.951951517	0.96680261	0.57705604	0.71689392	0.6394188
lm061_1.jpg	0.969480524	0.99867067	0.98589516	0.73772254	0.84394246
lm062_1.jpg	0.962837934	0.99776912	0.9778742	0.71095642	0.82332228
lm063_1.jpg	0.982605945	0.99651677	0.95414794	0.82439119	0.88453624
lm064_0.jpg	0.815243881	0.81518231	0.01217203	0.8378972	0.02399549
lm065_0.jpg	0.802322475	0.80324365	0.02157179	0.6617907	0.04178167
lm066_0.jpg	0.790654729	0.79044744	0.00796873	0.90169347	0.01579786
lm067_0.jpg	0.810674781	0.81043932	0.0182224	0.86881858	0.03569613
lm068_0.jpg	0.800923148	0.80081414	0.0144245	0.83203547	0.02835739
lm069_0.jpg	0.798944719	0.79880356	0.00807731	0.87427056	0.01600673
lm070_0.jpg	0.813886031	0.8139232	0.00973258	0.79767482	0.01923053
lm071_0.jpg	0.825320391	0.82505058	0.01089974	0.95961596	0.02155465

lm072_.jpg	0.817903418	0.81778662	0.00605451	0.91408935	0.01202934
lm073_.jpg	0.813312884	0.81325898	0.01032086	0.83646617	0.02039014
lm074_.jpg	0.817386633	0.81730974	0.01006267	0.85269406	0.01989061
lm075_.jpg	0.813894168	0.81401936	0.01458141	0.77847887	0.02862662
lm076_.jpg	0.836193312	0.83553533	0.03111716	0.95518025	0.06027085
lm077_.jpg	0.826085645	0.82601956	0.01038263	0.85711617	0.02051674
lm078_.jpg	0.780142009	0.78067717	0.01660077	0.68161781	0.03241215
lm079_.jpg	0.813497053	0.82040668	0.07205449	0.54397053	0.12725301
lm080_.jpg	0.808588193	0.80913519	0.01520487	0.6819964	0.02974655
lm081_.jpg	0.832489093	0.83250289	0.03019749	0.83029185	0.05827552
lm082_.jpg	0.822109141	0.82252531	0.02190581	0.74419126	0.04255887
lm083_.jpg	0.80803648	0.80785999	0.00975168	0.89115774	0.01929225
lm084_.jpg	0.80346996	0.80558313	0.0285423	0.5864985	0.05443547
lm085_.jpg	0.838902662	0.83872261	0.0405394	0.86167038	0.07743565
lm086_.jpg	0.818765519	0.81892949	0.02431139	0.79005312	0.04717124
lm087_.jpg	0.793538523	0.7948681	0.0187424	0.59248406	0.03633538
lm088_.jpg	0.804397156	0.80590881	0.05576496	0.71067602	0.10341518
lm089_.jpg	0.778033789	0.77838829	0.01592269	0.70803466	0.03114497
lm090_.jpg	0.800707622	0.80158007	0.06016658	0.74924705	0.11138838
lm091_.jpg	0.822829147	0.8225636	0.04809133	0.84794734	0.09102044
lm092_.jpg	0.806836602	0.80760097	0.02199169	0.68568987	0.04261656
lm093_.jpg	0.802668586	0.80834823	0.04298433	0.4835913	0.07895105
lm094_.jpg	0.775255574	0.77511345	0.02618027	0.79391839	0.05068902
lm095_.jpg	0.804615063	0.80291756	0.06231171	0.92443422	0.11675361

En el apéndice B se muestran todas las imágenes obtenidas al procesar todas las imágenes del ALL-IDB y su correspondiente imagen segmentada a mano.

5 Discusión

La segmentación de objetos en imágenes por medio de umbralización es una forma sencilla de llevarse a cabo. Para el problema de este trabajo, cubre las necesidades que requiere la solución para la segmentación y conteo de células. También el entorno de desarrollo Matlab ayuda a que la carga computacional sea baja, puesto que el lenguaje de programación que maneja es sencillo y ofrece algunas herramientas que ayudan a mejorar la eficiencia del algoritmo.

Hay problemas en cuanto a la intensidad que las imágenes pueden presentar, que pueden interferir en una segmentación y conteo correctos pero se pueden hacer correcciones en varios aspectos para aumentar la tasa de acierto en dichas tareas. Esto da un gran potencial de escalabilidad, mantenimiento y mejora al algoritmo, siendo que es de código abierto.

5.1 Condiciones de iluminación

Ciertos factores puede afectar la segmentación de modo que esta funcionara incorrectamente, uno de esos factores es la iluminación y el tono que en este caso las células adquieran, dicho esto puesto que se segmenta en base a la intensidad y que esa diferencia entre las CB marcada y no, es lo que ayuda, a veces la iluminación hace que esa diferencia no sea tan clara, confundiendo esto al algoritmo.

5.2 Alcances de la propuesta

Algunos problemas surgen cuando se segmenta las células de la imagen. Tiene que ver con el agrupamiento de estas, algunas veces se agrupan lo suficiente para que el algoritmo confunda esto y lo clasifique como si fuera una misma célula. También cuando la intensidad es un poco homogénea el método Otsu no puede calcular un umbral de referencia que defina bien una célula de otra.

En las figuras Fig. 8 y Fig. 9 podemos ver una ejemplificación de la segmentación, comparando la imagen original a la izquierda con la segmentada a la derecha, se dejó la segmentación con color y no binarizada para observar mejor el resultado.

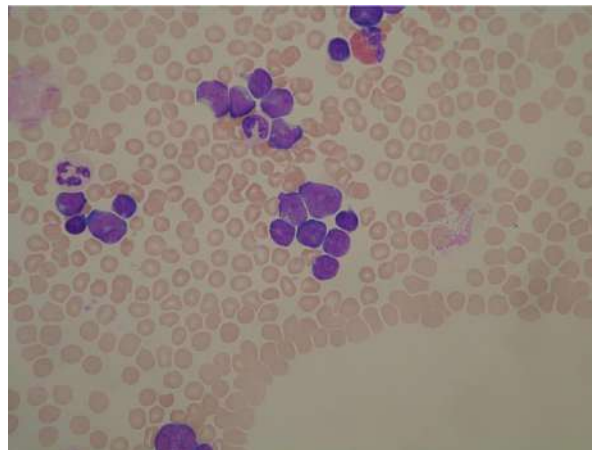


Fig. 8 Imagen original o de entrada de células

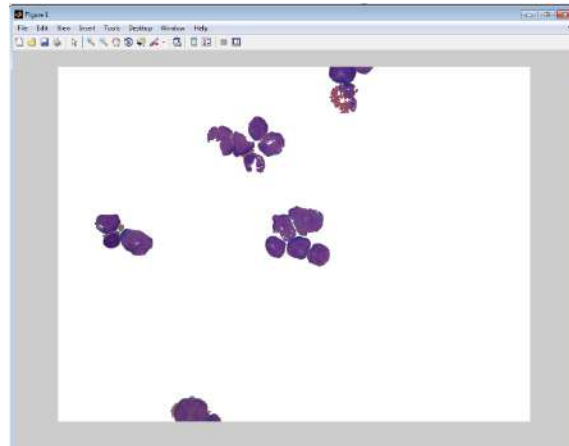


Fig. 9 Imagen segmentada obtenida

6 Conclusiones

El uso de algoritmos automatizados para este tipo de tareas resulta ser muy útil, ayuda a agilizar las actividades que se desempeñan de forma manual y que pueden conllevar a errores cuando son muy complejas, de un tiempo de realización grande y hasta repetitiva. En este caso de la tesis, el conteo de células tiene varios factores a considerar.

El primero de ellos, como ya se ha mencionado antes, es la condición de iluminación pues usa un método de segmentación que depende de la intensidad, lo que provoca que bajo diferentes intensidades de iluminación, el algoritmo cuando trate la imagen en escala de grises, tenga resultados variados.

El segundo es la morfología, para poder segmentar y hacer un conteo lo más correcto posible, se aplican técnicas para tratar los píxeles de la imagen segmentada y que se vea lo mejor segmentada posible, en ciertas imágenes las células están muy juntas, por lo que se usan operaciones morfológicas para hacer correcciones y que el conteo se vea afectado lo menor posible.

Por último, en el método de segmentación por Otsu también se toman en cuenta las capas de color de las imágenes originales, haciendo que este factor sea influyente en la segmentación, puesto que cuando se hace la conversión a escala de grises el color aumenta la intensidad dependiendo de qué tan claro o no sea el color.

Referencias

1. Otsu, N., "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62–66.
2. R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Pearson, 2018
3. J. A. Cortés, A. Muriel, and J. A. Mendoza, "Qualitative and quantitative Comparison of Basic histogram-based global Thresholding techniques for Digital Image Processing", *Scientia et Technica*, vol. 3(49), pp. 266-272, 2011.
4. https://la.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_products_matlab , 2022.
5. Mohd Safuan S.N., Md Tomari M.R., Nurshazwani W., Zakaria W.: White blood cell (WBC) counting analysis in blood smear images using various color segmentation methods. *Measurement*, 116:543-555, 2018.
6. Ruberto C.D., Loddo A., Putzu L.: A leucocytes count system from blood smear images. *Machine Vision and Applications*, 27:1151-1160, 2016
7. Andrade A.R., Vogado L.H.S., Veras R.M.S., Silva R.R.V., Araujo F.H.D., Medeiros F.N.S.: Recent computational methods for white blood cell nuclei segmentation: a comparative study. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 173:1-14, 2019.
8. Zheng X., Wang Y., Wang G., Liu J.: Fast and robust segmentation of white blood cell images by self-supervised learning. *Micron*, 107:55-71, 2018.

9. Hedge R.B., Prasad K., Hebbar H., Singh B.M.K.: Comparison of traditional image processing and deep learning approaches for classification of white blood cells in peripheral blood smear images. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 39:382-392, 2019.
10. Erik Cuevas. (2010). *Procesamiento digital de imagenes con matlab y simulink*. México: Alfa omega grupo editor.
11. JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)
12. Di Ruberto C., Loddo A., Puglisi G., Blob Detection and Deep Learning for Leukemic Blood Image Analysis. *Applied Sciences*, 10(3):1176, 2020.
13. Di Ruberto, C., Loddo, A. & Putzu, L. A leucocytes count system from blood smear images. *Machine Vision and Applications*, 27:1151–1160 (2016).
14. A.I. Shahin, Yanhui Guo, K.M. Amin, Amr A. Sharawi, White blood cells identification system based on convolutional deep neural learning networks, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 168:69-80, 2019.
15. Y. Liu, F. Cao, J. Zhao and J. Chu, Segmentation of White Blood Cells Image Using Adaptive Location and Iteration, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 21, no. 6, pp. 1644-1655, 2017.
16. Qian Wang, Li Chang, Mei Zhou, Qingli Li, Hongying Liu, Fangmin Guo, A spectral and morphologic method for white blood cell classification, *Optics & Laser Technology*, 84:144-148, 2016.
17. Li Qingli, Wang Yiting, Liu Hongying, Wang Jianbiao, Guo Fangmin, A combined spatial-spectral method for automated white blood cells segmentation. *Optics Laser Technology*, 54:225-231, 2013.

- 18.Hedge R.B., Prasad K., Hebbar H., Singh B.M.K.: Development of a robust algorithm for detection of nuclei and classification of white blood cells in peripheral blood smear images. J Med Syst, 42:110, 2018.
- 19.[19] Erik Cuevas, Margarita Díaz, Miguel Manzanares, Daniel Zaldivar, Marco Perez-Cisneros, "An Improved Computer Vision Method for White Blood Cells Detection", Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2013:14, 2013.
- 20.[20] Alomari Y.M., Sheick Abdullah S.N.H., Zaharatul Azma R., Omar K.: Automatic detection and quantification of WBCs and RBCs using iterative structured circle detection algorithm. Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2014:1-17, 2014.
- 21.Chao R.M., Wu H.C., Chen Z.C.: Image segmentation by automatic histogram thresholding, Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human., 2009:136-141, 2009.
- 22.Amal H. Alharbi, C. V. Aravinda, Meng Lin, P. S. Venugopala, Phalgunendra Reddicherla, Mohd Asif Shah, "Segmentation and Classification of White Blood Cells Using the UNet", Contrast Media & Molecular Imaging, 2022:8, 2022.

Apéndice A: Código fuente

```
tic;
%imgEnt = imread('imagenesCelulas\Im051_1.jpg'); %Direccion de
imagen
%imgSegManual = imread('WBCsMask\Im051_1_W.jpg');

leeArchivos = dir('imagenesCelulas\*.jpg');
leerCelulasComparar = dir('WBCsMask\*.jpg');

nombreArchivo = '';
tablaFileName = nombreArchivo; %Para tener o simular no tener un
valor al principio

tablaPixeles = ones(length(leeArchivos),4); %%%%%%%%%%%%%por
prueba cambiar

for k=1:length(leeArchivos) %Problemas con la primer imagen
    nombreArchivo = leeArchivos(k).name;
    nombreArchivoCel = leerCelulasComparar(k).name;

    tablaFileName = [tablaFileName;nombreArchivo];

    directorio = 'imagenesCelulas\';
    directorioCel = 'WBCsMask\';
    imgEnt = imread(strcat(directorio,nombreArchivo)); %Direccion
de imagen Para el For
    imgSegManual = imread(strcat(directorioCel,nombreArchivoCel));

    imgEntR = double(imgEnt(:,:,1)).^2;
    imgEntG = double(imgEnt(:,:,2)).^2;
    imgEntB = double(imgEnt(:,:,3)).^2;
    imgEntOp = sqrt(imgEntR + imgEntG + imgEntB); %norm(v)
    imgEntOpAround = round(imgEntOp);

    L = 442;
    Wk = zeros(L ,1);
    MediaK = zeros(L ,1); %M(k)
    varianza = zeros(L ,1);
    N = numel(imgEntOpAround);
    niveles = zeros(L ,2);
    for i=1:L
        niveles (i,1) = i;
    end
end
```

```

pi = zeros(L ,1);
indiceEle = 0;
cantElemEnI = 0;
cantColum = 0;
for i=1:L
    indiceEle = find(imgEntOpAround==i); % Trabaja con indices
lineales
    if ~isempty(indiceEle)
        [cantFilasYElemt ,cantColum] = size(indiceEle);
        niveles (i,2) = cantFilasYElemt;
        pi(i,1) = cantFilasYElemt/N;
    end
end

sum = 0;
sumMult = 0;

for i=1:L
    for j=1:i
        sum = sum + pi(j,1);
        sumMult = sumMult + (pi(j,1)*j);
    end
    Wk(i,1) = sum;
    MediaK(i,1) = sumMult;
    sum = 0;
    sumMult = 0;
end

MediaT = MediaK(L,1); % 256

for i=1:L
    if Wk(i,1)*(1 - Wk(i,1))>0
        varianza(i,1) = ( (MediaT*Wk(i,1)) - MediaK(i,1))^2 /
Wk(i,1)*(1 - Wk(i,1));
    end
end

minimoL = find(varianza == max(varianza)); % Umbral
imgSegmentada = imgEnt;

% imgSegGris = rgb2gray(imgEnt);

imgSegGris = imgEntOpAround <= minimoL(1,1); %Binarizado con
fondo negro °1
imgBinAuto = imgEntOpAround >= minimoL(1,1); %Binarizado con
fondo blanco

```

```

    imgBinManual = im2bw(imgSegManual,0.5); %Binarizo imagen
segmentada manualmente.

H = ones(5,5);

imgErosionada = imerode(imgSegGris,H);
imgErosionadaBin = imerode(imgBinAuto,H);
%imshow(imgErosionada);
%pause;
H = ones(8,8);
imgErosionada = imdilate(imgErosionada,H);
imgErosionadaBin = imdilate(imgErosionadaBin,H);

%imshow(imgSegmentada);
%imshow(imgErosionada);

% Seccion de etiquetado
imagenEtiquetada = bwlabel(imgErosionada);
valorTopEtiqueta = max(max(imagenEtiquetada)); %%%% Revisar si
este calculo es correcto
etiquetadosCantidades = zeros(valorTopEtiqueta ,2);

for i=1:valorTopEtiqueta
    etiquetadosCantidades (i,1) = i;
end
for i=1:valorTopEtiqueta
    indiceEle = find(imagenEtiquetada==i); % Trabaja con
indices lineales
    if ~isempty(indiceEle)
        [cantFilasYElemt ,cantColum] = size(indiceEle);
        etiquetadosCantidades (i,2) = cantFilasYElemt;
    end
end

valorTopCantidadEtiquetados = max(max(etiquetadosCantidades));
valorPorcentajeEtiquetado = valorTopCantidadEtiquetados *
0.25; %%%% PORCENTAJE DE REFERENCIA AL TAMAÑO MAS GRANDE DE
ETIQUETAS CON UN MISMO NUMERO
%pause;

for e=1:valorTopEtiqueta
    if etiquetadosCantidades(e,2) < valorPorcentajeEtiquetado

```

```

        imagenEtiquetada(imagenEtiquetada ==
etiquetadosCantidades(e,1)) = 0;
    end
end

%imshow(imagenEtiquetada);
TP = 0; TN = 0; FP = 0; FN = 0;
imgEntSeg = imgEnt;
[filas ,columnas] = size(imagenEtiquetada);
for i=1:filas
    for j=1:columnas
        if imagenEtiquetada(i,j) == 0
            imgEntSeg(i,j,1) = 255;
            imgEntSeg(i,j,2) = 255;
            imgEntSeg(i,j,3) = 255;
        end
        if k > 1
            %Comparativa para identificar TP, TN, FP, FN
            if imgErosionadaBin(i,j) == 0 && imgBinManual(i,j)
== 0
                TP = TP + 1;
            end
            if imgErosionadaBin(i,j) == 0 && imgBinManual(i,j)
== 1
                FP = FP + 1;
            end
            if imgErosionadaBin(i,j) == 1 && imgBinManual(i,j)
== 1
                TN = TN + 1;
            end
            if imgErosionadaBin(i,j) == 1 && imgBinManual(i,j)
== 0
                FN = FN + 1;
            end
        end
        %{
version
        %Comparativa para identificar TP, TN, FP, FN primer
        if imgErosionadaBin(i,j) == 1 && imgBinManual(i,j) ==
1
            TP = TP + 1;
        end
        if imgErosionadaBin(i,j) == 1 && imgBinManual(i,j) ==
0
            FP = FP + 1;
        end
    end
end

```

```

        if imgErosionadaBin(i,j) == 0 && imgBinManual(i,j) ==
0
            TN = TN + 1;
        end
        if imgErosionadaBin(i,j) == 0 && imgBinManual(i,j) ==
1
            FN = FN + 1;
        end
        %}
    end
end

tablaPixeles(k,1) = TP;
tablaPixeles(k,2) = FP;
tablaPixeles(k,3) = TN;
tablaPixeles(k,4) = FN;

imwrite(imgErosionadaBin,
strcat('imagenesCelulasBlancoNegro\My_',nombreArchivo));
%imshow(imgEntSeg);

end

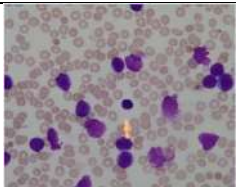
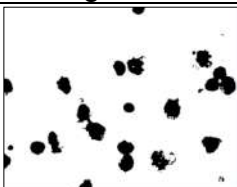
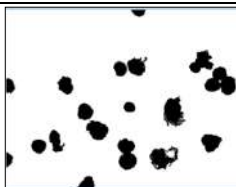
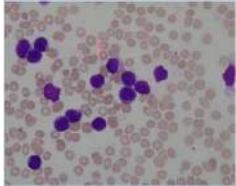
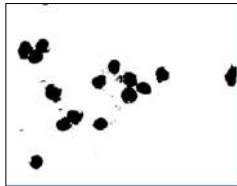
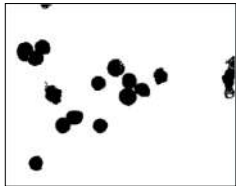
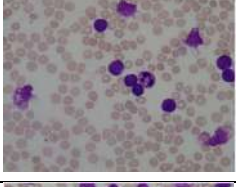
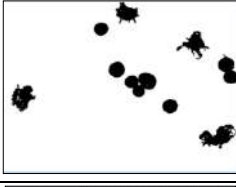
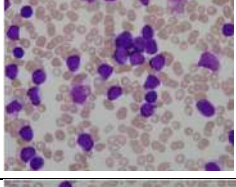
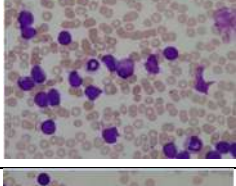
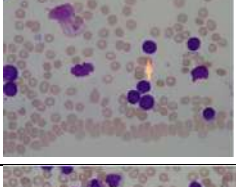
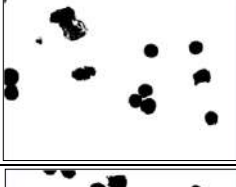
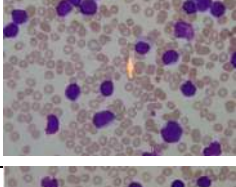
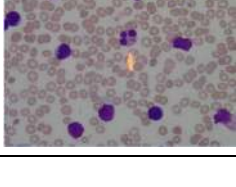
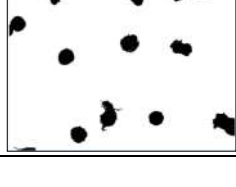
filename = 'tabla numeros de celulas.xlsx';
DatoTP = tablaPixeles(:,1);
DatoFP = tablaPixeles(:,2);
DatoTN = tablaPixeles(:,3);
DatoFN = tablaPixeles(:,4);

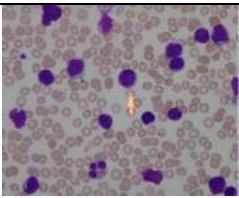
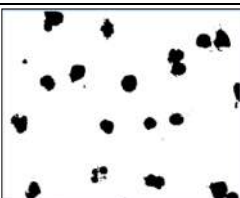
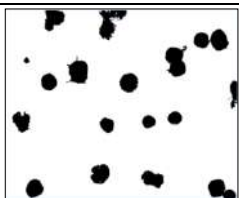
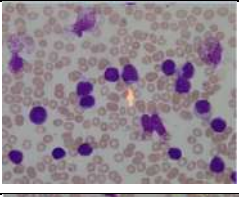
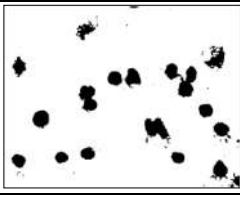
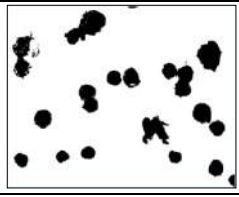
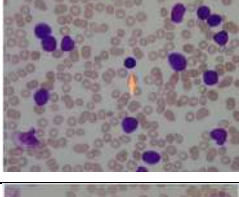
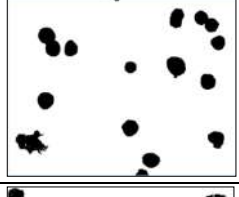
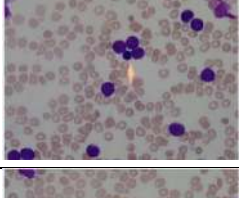
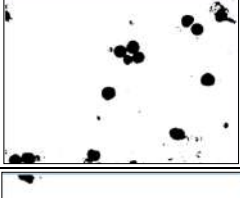
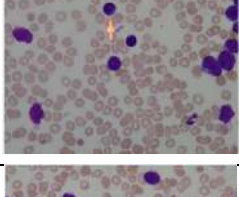
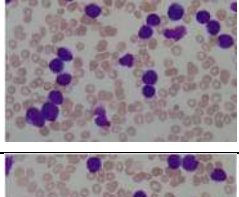
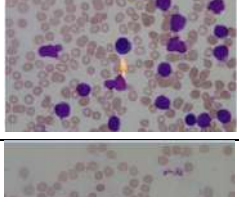
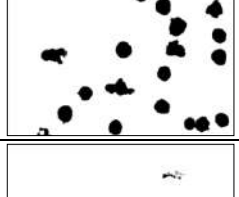
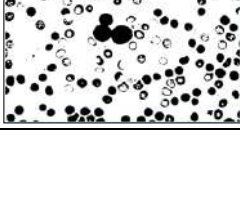
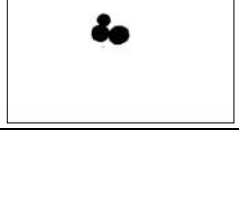
tablaExcel = table(tablaFileName,DatoTP, DatoFP, DatoTN, DatoFN)
writetable(tablaExcel,filename,'Sheet',1,'Range','B2');

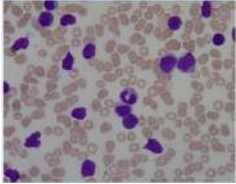
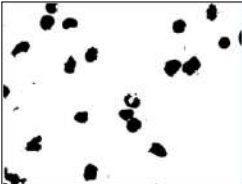
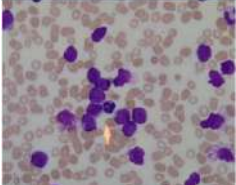
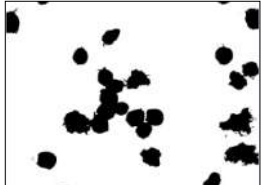
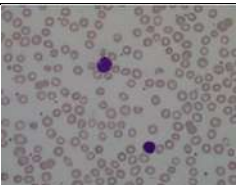
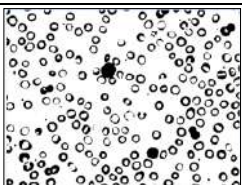
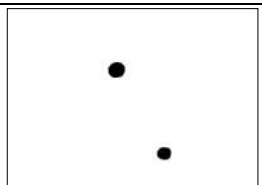
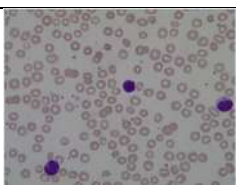
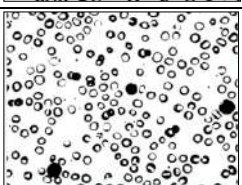
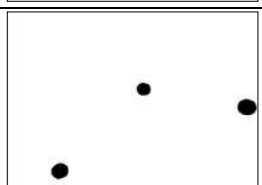
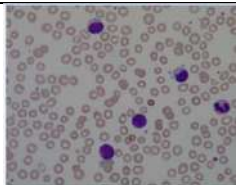
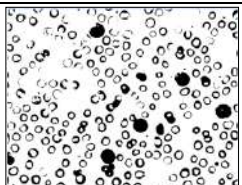
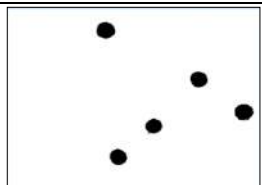
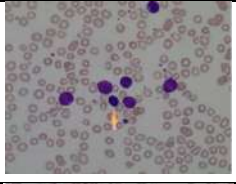
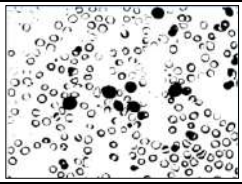
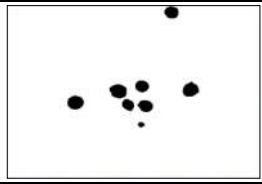
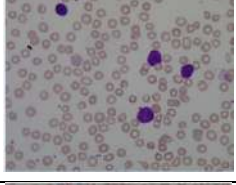
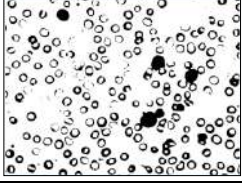
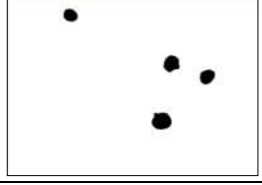
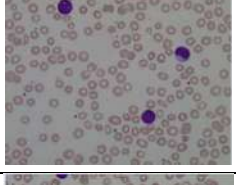
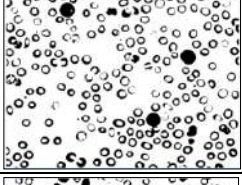
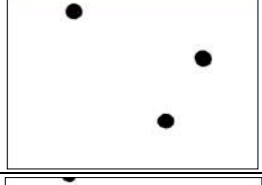
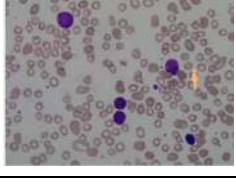
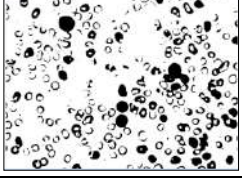
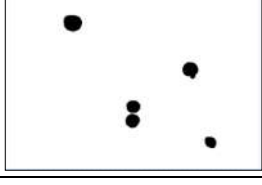
toc;

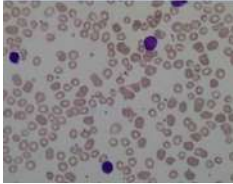
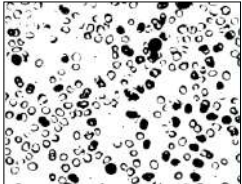
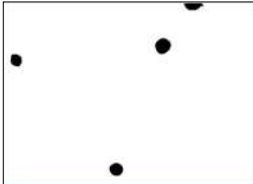
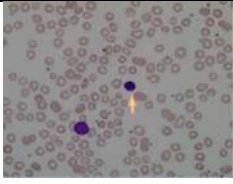
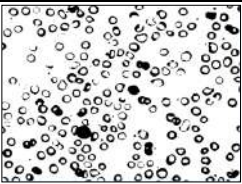
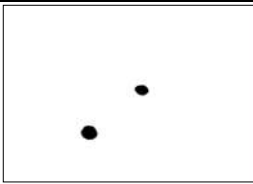
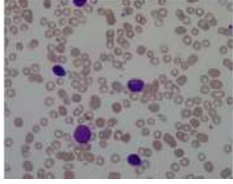
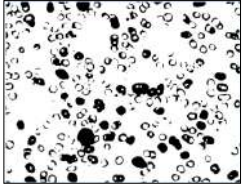
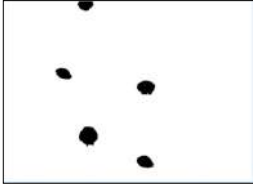
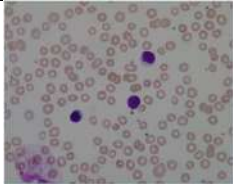
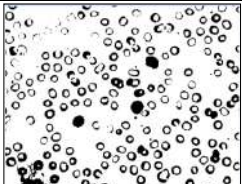
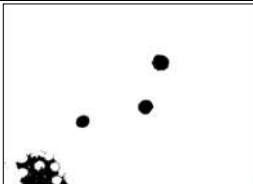
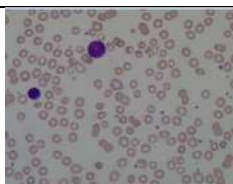
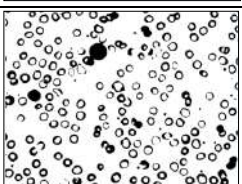
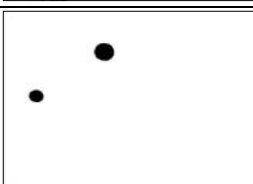
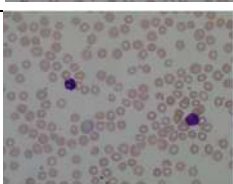
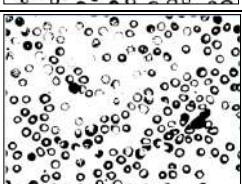
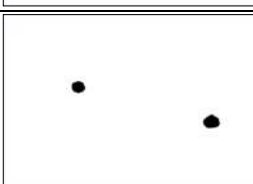
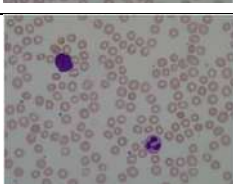
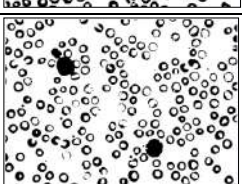
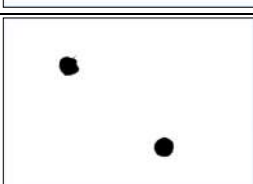
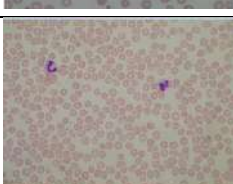
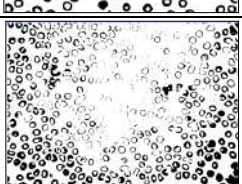
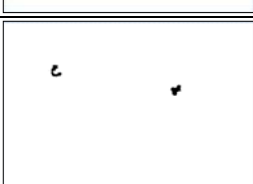
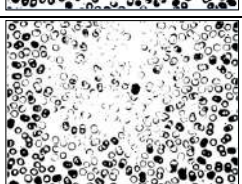
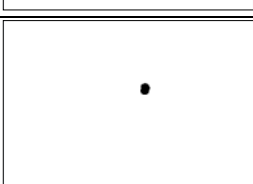
```

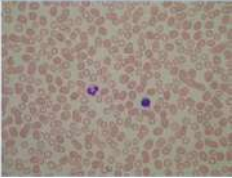
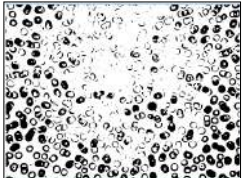
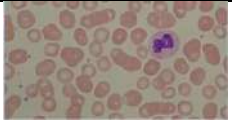
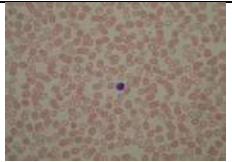
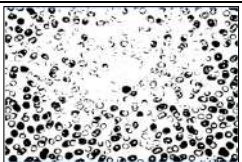
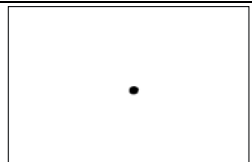
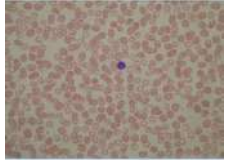
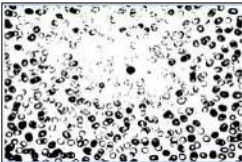
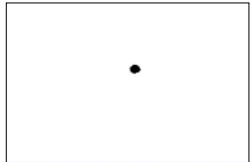
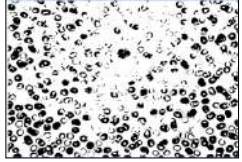
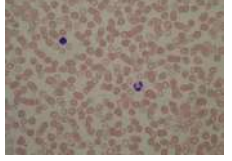
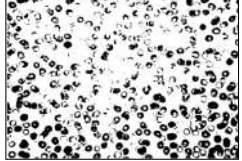
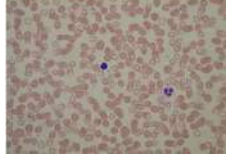
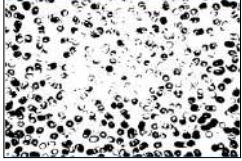
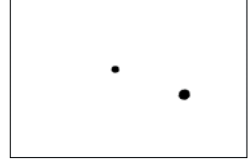
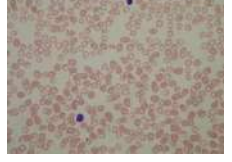
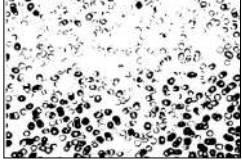
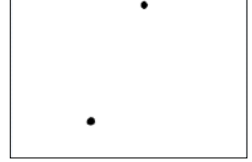
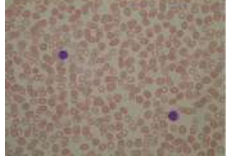
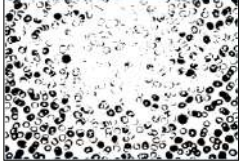
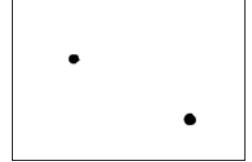
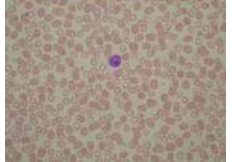
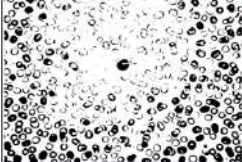

Apéndice B: Imágenes obtenidas

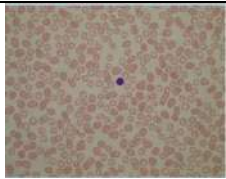
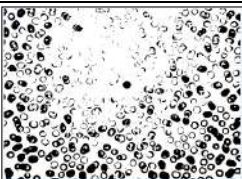
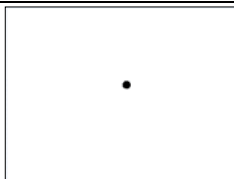
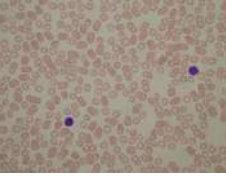
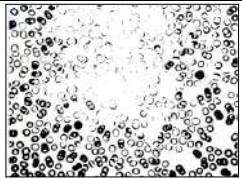
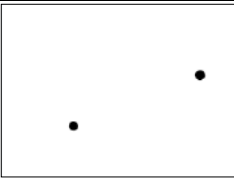
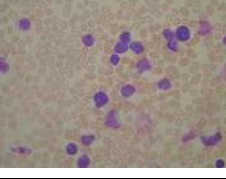
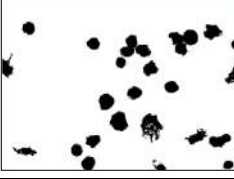
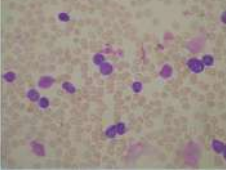
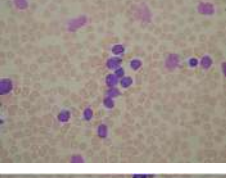
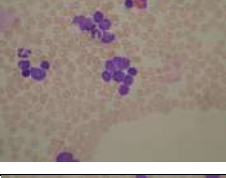
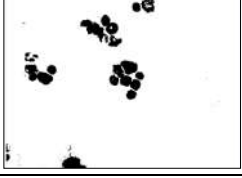
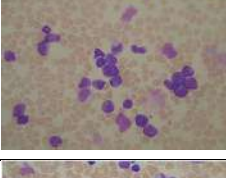
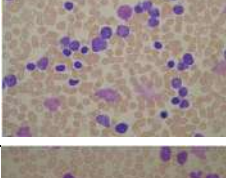
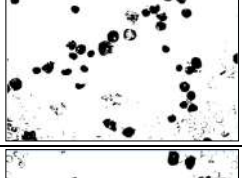
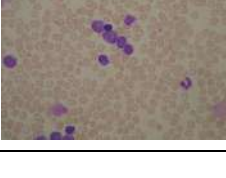
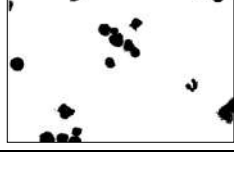
Nombre Archivo	Imagen Original	Imagen Segmentada por Algoritmo	Imagen segmentada Manualmente
Im002_1			
Im003_1			
Im004_1			
Im005_1			
Im006_1			
Im007_1			
Im008_1			
Im009_1			

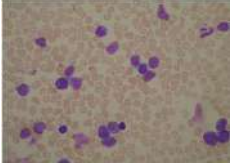
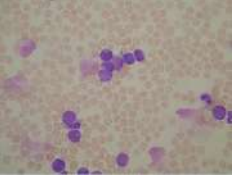
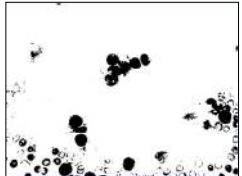
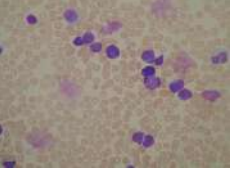
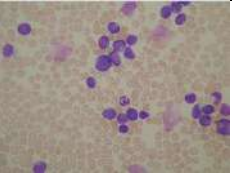
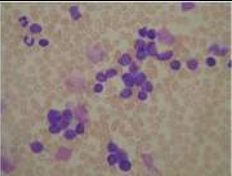
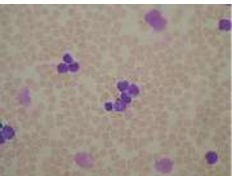
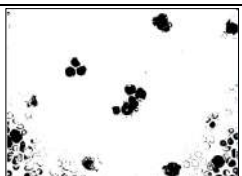
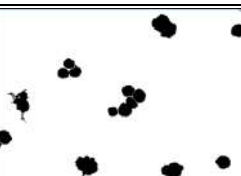
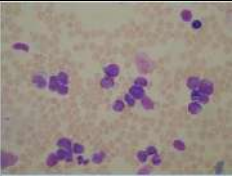
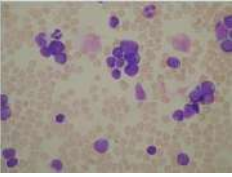
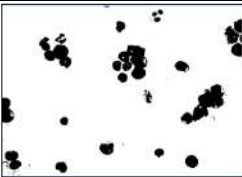
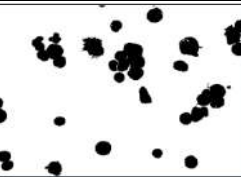
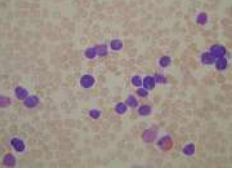
Im010_1			
Im011_1			
Im012_1			
Im013_1			
Im014_1			
Im015_1			
Im016_1			
Im017_1			

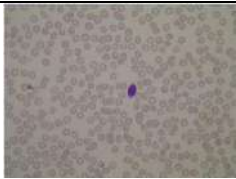
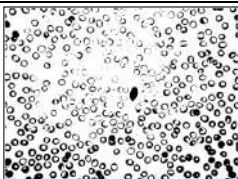
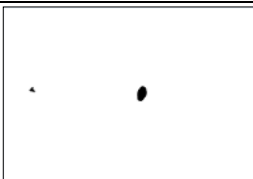
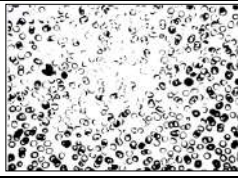
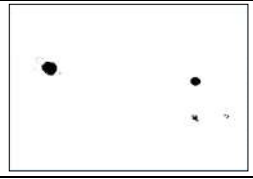
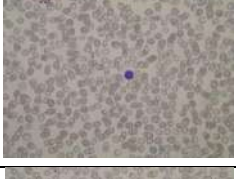
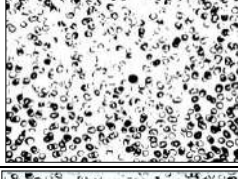
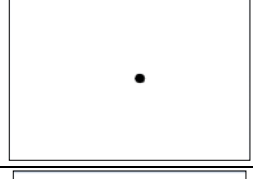
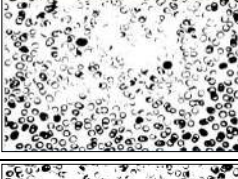
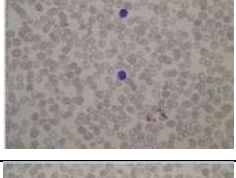
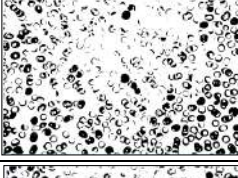
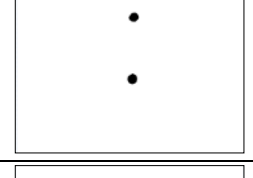
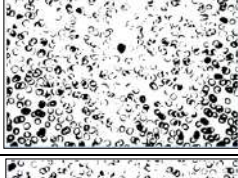
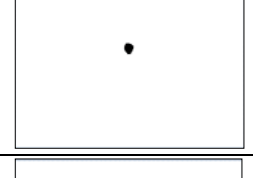
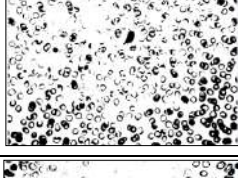
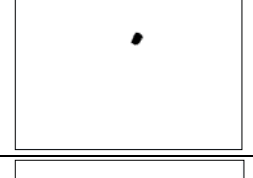
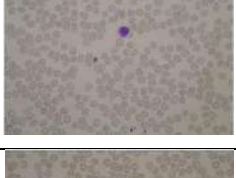
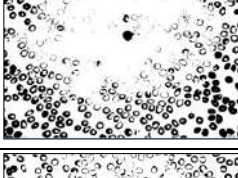
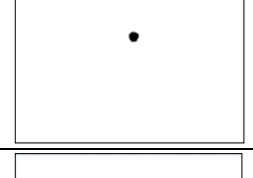
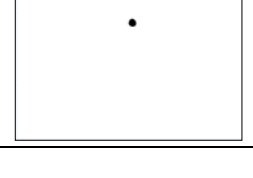
Im018_1			
Im019_1			
Im020_1			
Im021_1			
Im022_1			
Im023_1			
Im024_1			
Im025_1			
Im026_1			

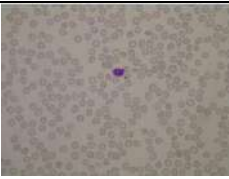
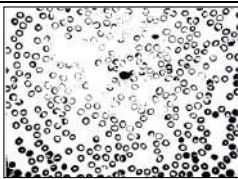
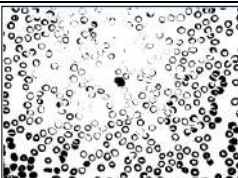
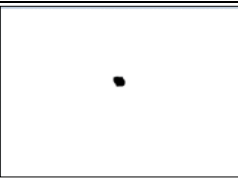
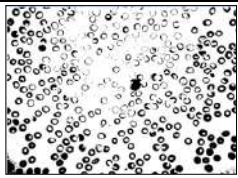
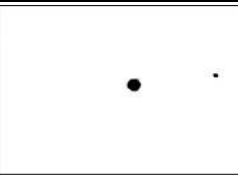
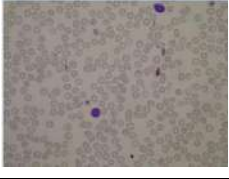
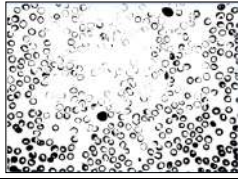
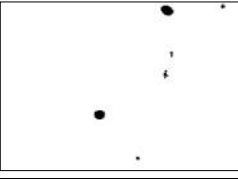
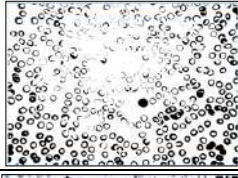
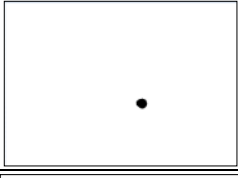
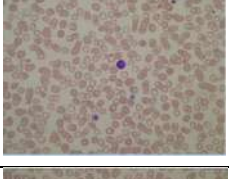
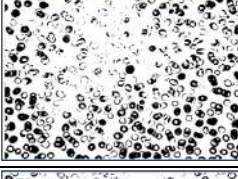
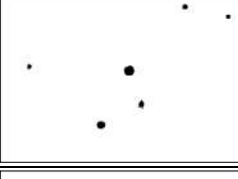
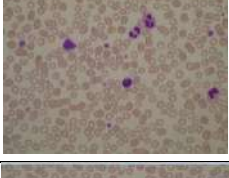
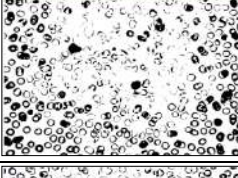
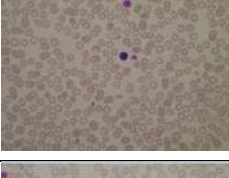
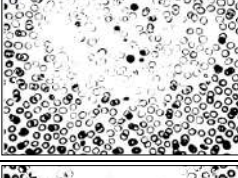
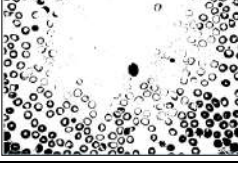
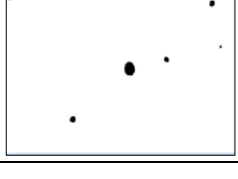
Im027_1			
Im028_1			
Im029_1			
Im030_1			
Im031_1			
Im032_1			
Im033_1			
Im034_0			
Im035_0			

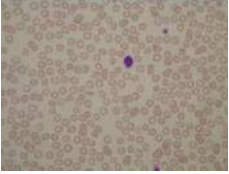
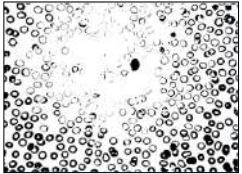
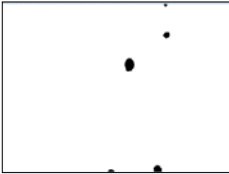
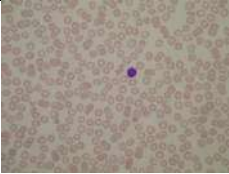
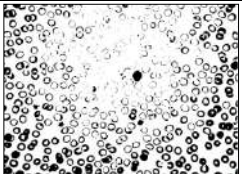
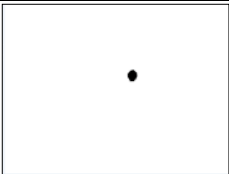
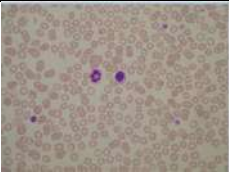
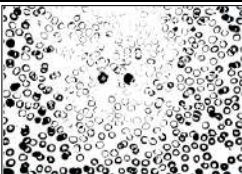
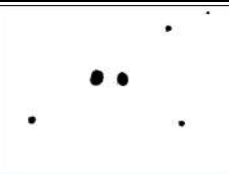
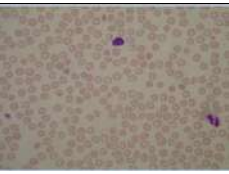
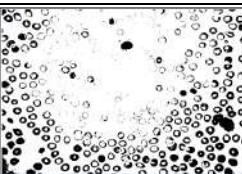
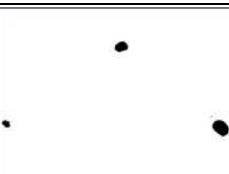
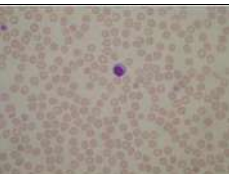
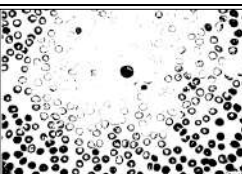
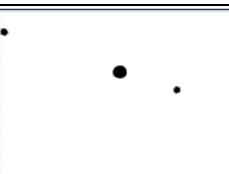
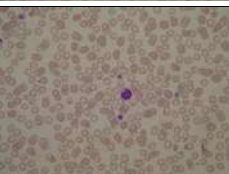
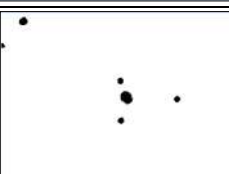
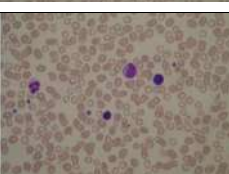
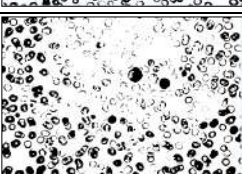
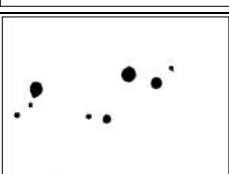
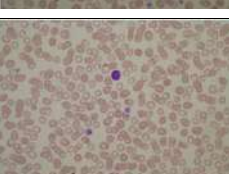
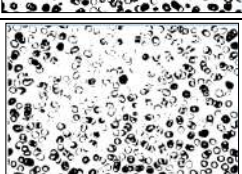
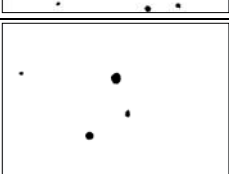
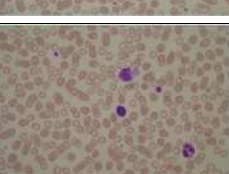
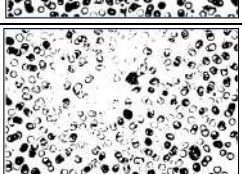
Im036_0			
Im037_0			
Im038_0			
Im039_0			
Im040_0			
Im041_0			
Im042_0			
Im043_0			
Im044_0			
Im045_0			

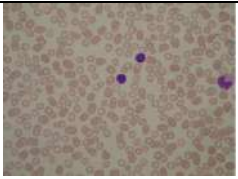
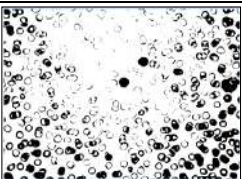
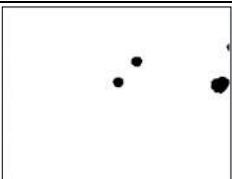
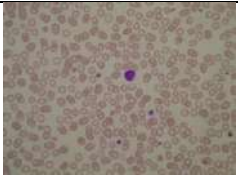
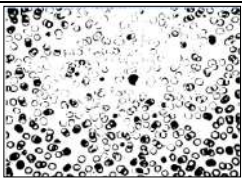
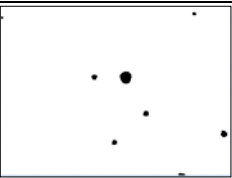
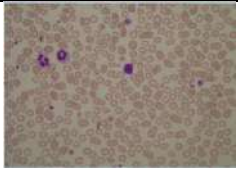
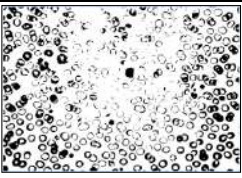
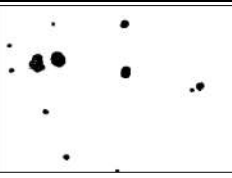
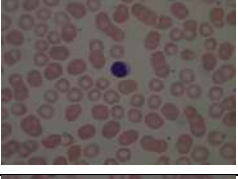
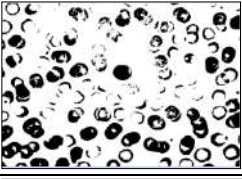
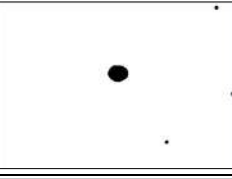
Im046_0			
Im047_0			
Im048_1			
Im049_1			
Im050_1			
Im051_1			
Im052_1			
Im053_1			
Im054_1			

Im055_1			
Im056_1			
Im057_1			
Im058_1			
Im059_1			
Im060_1			
Im061_1			
Im062_1			
Im063_1			

Im064_0			
Im065_0			
Im066_0			
Im067_0			
Im068_0			
Im069_0			
Im070_0			
Im071_0			
Im072_0			

Im073_0			
Im074_0			
Im075_0			
Im076_0			
Im077_0			
Im078_0			
Im079_0			
Im080_0			
Im081_0			

Im082_0			
Im083_0			
Im084_0			
Im085_0			
Im086_0			
Im087_0			
Im088_0			
Im089_0			
Im090_0			

Im091_0			
Im092_0			
Im093_0			
Im094_0			
Im095_0	