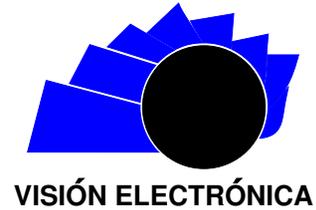




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN INVESTIGADORA

Descriptores de color para análisis de imágenes de citología

Color descriptors for cytology smear images analysis

José Gabriel Sáenz^a, Luz Helena Camargo^b, Esperanza Camargo^c

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: Septiembre de 2014

Recibido: Octubre de 2014

Aceptado: Enero de 2015

Palabras clave:

Imágenes de células de citología cervical

Cáncer de cuello uterino

Dominant color descriptor

Color layout descriptor

RESUMEN

La técnica de Papanicolaou conocida como citología convencional cervical es utilizada como medio de tamizaje para identificar células normales y anormales, que permite prevenir el cáncer de cuello uterino. Sin embargo, se requiere un alto nivel de experiencia por parte del citopatólogo que realiza el tamizaje, y considerando el número de muestras que debe examinar en una jornada de trabajo, incrementando la posibilidad de equivocarse. Por tanto, se han implementado varias estrategias para automatizar este proceso tomando la imagen original y convirtiéndola a escala de grises, pero de este modo se pierde la información relacionada con el color, una característica que aporta un alto poder discriminativo de los elementos de interés (núcleo y citoplasma).

En este trabajo a imágenes obtenidas en una base de datos de dominio público de células de citología cervical, se aplicó una etapa de preprocesamiento para corregir la iluminación y eliminar el ruido de la imagen, posteriormente se implementaron dos descriptores de color; el Descriptor del Color Dominante (DCD) y el Descriptor de la Distribución de Color (DDC) para la caracterización del contenido de las imágenes.

Como resultado de este trabajo se observa que la implementación de una etapa de preprocesamiento en el análisis de imágenes de células de citología cervical combinado con el aprovechamiento de la información relacionada con el color consigue efectivamente hacer la detección del núcleo y citoplasma, logrando desarrollar un método automático para la detección de células anormales y en consecuencia prevenir el cáncer de cuello uterino.



ABSTRACT

^aIngeniero Electrónico. Grupo de Investigación Ingeniería y Nanotecnología para la Vida (INVID). Docente Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C. – Colombia, e-mail: jgsaenzvcorreo.udistrital.edu.co

^bLicenciada en Biología. Especialista en Bioingeniería. MsC. Ingeniería Biomédica. Grupo de Investigación Ingeniería y Nanotecnología para la Vida (INVID). Docente Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C. – Colombia, e-mail: lhcarnagoc@udistrital.edu.co

^cIngeniería en control electrónico e instrumentación. Especialización en instrumentación electrónica. Estudiante de Doctorado en ingeniería. Grupo de investigación DIGITI, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C. – Colombia, e-mail: ecarnagoc@udistrital.edu.co

Keywords:

Cell imaging of cervical screening

Cervical cancer

Dominant color descriptor

Color layout descriptor

The technique Pap conventional cytology is used as a means of screening to identify normal and abnormal cells, which can prevent cervical cancer. However, a high level of expertise by the cytopathologist performing screening is required, and considering the number of samples to be examined in a working day, increasing the possibility of error. Therefore, several strategies have been implemented to automate this process by taking the original image and converting to grayscale, but this way the information related to the color is lost, a feature that provides a high discriminative power of the elements of interest (nucleus and cytoplasm).

In this work images obtained in a database of public domain cell cervical cytology, a step of preprocessing was applied to correct lighting and eliminate image noise, then color two descriptors were implemented; the Dominant Color Descriptor (DCD) and the Descriptor of the Distribution of Color (DDC) for characterizing the content of the images.

As a result of this study the implementation of a preprocessing stage in the cell image analysis of cervical cytology combined with the use of information related to the color achieved effectively make detection nucleus and cytoplasm, able to develop a method automatic detection of abnormal cells and thus prevent cervical cancer.

1. Introducción

De acuerdo con la organización mundial de la salud y las cifras de GLOBOCAN, el cáncer de cuello uterino es el segundo tipo de cáncer más común entre las mujeres y el séptimo entre todos los tipos de cáncer [1]. Para el año 2008 se diagnosticaron 529.000 casos en todo el mundo, ocasionando 275.000 defunciones, 4.736 de los casos presentados y 2.154 fallecimientos ocurrieron en Colombia, convirtiendo al cáncer de cuello uterino en el cuarto cáncer más común y la segunda causa de muerte por cáncer en mujeres colombianas [2,3].

La prueba de detección más común y efectiva del cáncer de cuello uterino es la prueba de Papanicolaou. Esta técnica realiza un procedimiento de tinción sobre las células cervicales que permite la identificación de anomalías mediante un cuidadoso análisis microscópico de cada muestra [4–7]. Hoy en día con la oportuna práctica de este examen se puede lograr la reducción de la incidencia y mortalidad del cáncer cervical [8,9].

Aunque este es un método efectivo, el análisis de las imágenes de células de citología cervical presenta algunas dificultades asociadas a la superposición, solapamiento y los contornos irregulares de las células, además, el proceso de tinción en ocasiones genera variaciones en la intensidad de color y la iluminación de la imagen. Es importante desarrollar una técnica de análisis automático de estas imágenes que pueda apoyar el pronóstico de lesiones cervicales.

La señal de color puede ser empleada para la detección de todo tipo de objetos en una imagen, pero aunque es una propiedad que aporta mucha información para la caracterización del contenido, no ha sido utilizada tanto como el análisis sobre imágenes en escala de grises [10–12], desaprovechando así los beneficios que esta ofrece [13]. Los descriptores de imagen que hacen

uso del color usualmente mejoran la identificación de objetos y texturas en una imagen, aumentando el poder discriminativo y una estabilidad relativa ante cambios de las condiciones normales de la imagen como por ejemplo la iluminación.

Algunos métodos propuestos en la literatura se han desarrollado con la intención de resolver el problema de caracterización del contenido de imágenes de células de citología cervical. Byriel (1999) [14], Norup (2005) [15] y Marinakis (2008) [10], entre otros, han tratado el problema con el uso de algoritmos genéticos y obtienen en la clasificación hasta un 96% de aciertos, la desventaja de estas técnicas son su costo computacional que deriva en altos tiempos de ejecución y alto consumo de memoria.

Este documento presenta el desarrollo de dos técnicas de descripción de color: Descriptor del Color Dominante (DCD) y Descriptor de la Distribución de Color (DDC) [13], que en conjunto con una etapa de preprocesamiento (filtrado en el dominio de la frecuencia) son aplicadas a una base de datos de imágenes de células cervicales.

2. Metodología

Con el fin de identificar los elementos de interés en las imágenes que corresponden al núcleo y al citoplasma de la célula se implementó el preprocesamiento y dos descriptores de color.

2.1. Base de Datos

La base de datos empleada contiene imágenes de células cervicales individuales de dominio público, creada por el Hospital Universitario de Herval (Dinamarca), que contiene 917 imágenes, 242 son normales y 675 son anormales [10–15].

2.2. Preprocesamiento de la imagen

El preprocesamiento de la imagen busca mejorar la claridad del contenido y disminuir el ruido [16] para facilitar el proceso de análisis mediante un descriptor visual. Dada las dificultades para distinguir entre las imágenes de las células normales o anormales, en este caso, las correcciones se realizan mediante la conversión de la imagen a un espacio color que para el cálculo de las luminancias la Comisión Internacional de la Iluminación, propuso en 1976 el espacio uniforme conocido como CIELUV [17,18].

2.2.1. Conversión del espacio de color CIELUV

El espacio de color XYZ se obtiene por transformación lineal del sistema RGB y fue desarrollado por la CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) para ser independiente a cualquier medio de emisión o transmisión, los ahora colores primarios XYZ (que no representan a una luz física), puedan reproducirse con valores positivos del estímulo (función de longitud de onda para cada color primario rojo, verde y azul) [18].

Para convertir la imagen al espacio CIELUV se debe primero hacer una transformación lineal del sistema RGB, como se aprecia en la ecuación 1:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 & 0.357 & 0.180 \\ 0.212 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.019 & 0.905 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Las coordenadas (L^*, u^*, v^*) se definen de la forma que se presenta en las ecuaciones 2 y 3 [18]:

$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} u^* &= 13 L^* (u' - u'_n) \\ v^* &= 13 L^* (v' - v'_n) \end{aligned} \quad (3)$$

donde

$$\begin{aligned} u' &= \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \\ v' &= \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \end{aligned} \quad (4)$$

siendo u'_n, v'_n las coordenadas u', v' del blanco de referencia.

La componente L^* contiene la representación visual uniformemente espaciada y mediante una escala de valores entre 0 – 100 pueden observarse las diferencias visuales de la imagen, valores cercanos a cero corresponden a puntos más oscuros y cercanos a cien serán puntos más claros.

2.2.2. Filtro en el dominio de la frecuencia

La transformada de Fourier es una herramienta fundamental para el procesamiento de imágenes. La salida de la transformación representa a la imagen en el dominio de la frecuencia, donde cada punto contenido en el dominio del espacio es identificado por una frecuencia en particular [16].

Siendo la convolución definida como (ecuación 5):

$$G(u, v) = F(u, v) * H(u, v) \quad (5)$$

El filtrado de la imagen en el dominio de la frecuencia es un procedimiento constituido por los pasos que se presentan en la figura 1.

Figura 1. Proceso para el filtrado en el dominio de la frecuencia.



Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Filtro Pasabanda

El filtro diseñado es un filtro tipo Butterworth de primer orden pasabanda, que busca eliminar el ruido y suavizar la imagen para apoyar el uso de color como característica de descripción de la imagen (ver ecuación 6).

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + (D_o/D(u, v))^{2n}} \quad (6)$$

siendo n el orden del filtro.

Al finalizar el proceso de filtrado de la imagen esta se reconstruye en el espacio RGB obteniendo la imagen con los colores originales, pero suavizada y exenta de ruido.

2.3. Descriptores de color

Los descriptores abordan la caracterización de la imagen desde el color como atributo principal, los descriptores implementados son: Descriptor del Color Dominante (DCD) y Descriptor de la Distribución de Color (DDC) [19–21].

2.3.1. Descriptor del Color Dominante (DCD)

El descriptor DCD es un método de descripción compacto de los colores representativos en una imagen, mediante un algoritmo de cuantificación el número de colores se reduce dejando solo los colores dominantes. Normalmente es utilizado el Algoritmo Generalizado de

Lloyd (GLA), encargado de agrupar cada pixel con un color representativo, después de realizar este procedimiento se obtiene el porcentaje de cada uno de ellos. El descriptor DCD se define por la ecuación 7 [19]:

$$F = \{\{c_i, p_i, v_i\} s, i = 1, 2, \dots, N\} \quad (7)$$

Donde N es el número de colores dominantes, c_i es el vector con los valores de las componentes del color, p_i (dado entre 0 – 1) es el porcentaje de color en la imagen, v_i es la varianza del color y s es la coherencia espacial. El número de colores representativos deseado es tres, uno para el núcleo, otro para el citoplasma y el tercero para el fondo, la suma de los porcentajes de cada color debe ser 1 (equivalente al 100% de la imagen).

Algoritmo de agrupamiento

Para realizar un agrupamiento de color es necesario llevar la imagen nuevamente a un espacio de color visualmente uniforme, de este modo, siendo la distorsión d para cada grupo c_i definida mediante la expresión matemática presentada en la ecuación 8:

$$D_i = \sum_n v(n) \|x(n) - c_i\|^2, x(n) \in C_i \quad (8)$$

donde c_i es el centróide del grupo C_i , $x(n)$ es el vector de color para el pixel n y v_n es el peso perceptual para el pixel n , el algoritmo fija el criterio de parada a partir de cual se escogerá el mejor centro posible (mínima distorsión o máxima de iteraciones, luego establece N centros (mismo número de colores representativos a extraer) y ubica cada pixel dentro del grupo C_i más cercano, a continuación para cada grupo C_i calcula la respectiva distorsión, y finalmente si la condición se cumple el proceso finaliza, en caso contrario se reasigna el centroide y nuevamente para cada grupo C_i calcular la respectiva distorsión.

La reasignación del centroide está dada por la ecuación 9:

$$c_i = \frac{\sum v(n)x(n)}{\sum v(n)}, x(n) \in C_i \quad (9)$$

Cálculo de los porcentajes

Luego del agrupamiento quedan tres grupos sobre la imagen asociados al núcleo, el citoplasma y el fondo, por tanto, se calculan los porcentajes mediante el conteo de pixeles de cada grupo sobre el número de pixeles totales de la imagen (ver ecuación 10):

$$c_i = \frac{\text{número de pixeles del } i\text{-ésimo grupo}}{\text{número total de pixeles en la imagen}} \quad (10)$$

De esta manera finaliza la descripción de la imagen mediante DCD obteniendo un vector con las componentes de los colores representativos y el porcentaje respectivo, con estos datos se puede reconstruir una imagen como la original, pero solo con los colores dominantes.

2.3.2. Descriptor de la Distribución de Color (DDC)

El descriptor DDC realiza la caracterización del contenido de la imagen utilizando los coeficientes de la transformada discreta del coseno (DCT), sobre una imagen previamente dividida en bloques de los colores más representativos y convertida al espacio de color YCbCr [19].

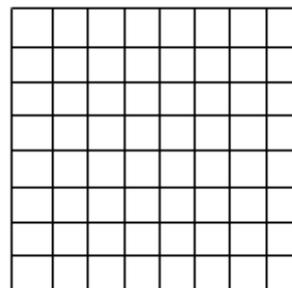
División de la imagen

La imagen de entrada es dividida en 64 bloques donde las dimensiones de cada bloque son $(m/8, n/8)$ para una imagen de $m \times n$.

Selección del color más representativo

En cada uno de los bloques (ver figura 2) se promedian todos los colores que existan y se toma aquel que este mayor número de veces presente, obteniendo una nueva imagen de 64 colores con el mismo tamaño de la imagen original.

Figura 2. División en 64 bloques de iguales dimensiones.

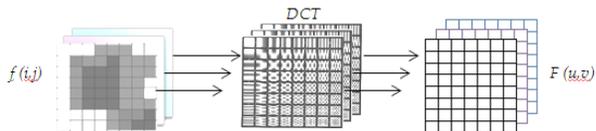


Fuente: elaboración propia.

Transformada Discreta Del Coseno (DCT)

La DCT posee la capacidad de compactar la energía en el dominio transformado, concentrando la mayor parte la información en unos pocos coeficientes. Su utilidad radica en la posibilidad de representar funciones en múltiples niveles de detalle, ponderando una imagen en 64 coeficientes organizados de menor a mayor frecuencia. Antes de realizar el cálculo se debe convertir la imagen al espacio de color YCbCr, de modo que con las tres componentes del nuevo espacio de color se realice la DCT. La figura 3 ilustra el procedimiento realizado:

Figura 3. Esquema de transformación DCT para una imagen en espacio de color YCbCr.

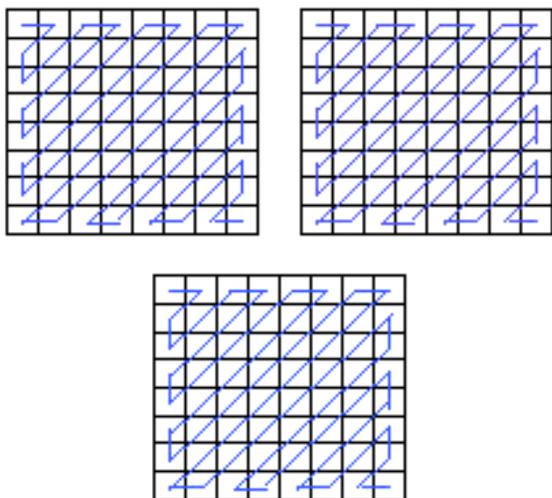


Fuente: elaboración propia.

Exploración en zigzag

Luego de la transformación se obtienen tres imágenes con 64 coeficientes y el estándar del descriptor indica que con los primeros 6 coeficientes de la matriz correspondiente a la luminancia Y. Los primeros tres coeficientes de las matrices restantes (crominancia) pueden caracterizar el contenido. En la figura 4 se observa la manera el recorrido para la toma de los coeficientes en cada componente (Y-Cb-Cr respectivamente).

Figura 4. Exploración en zigzag.



Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

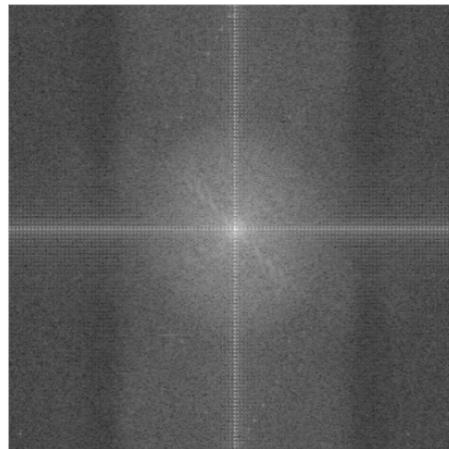
A continuación se presentan los principales resultados en el proceso de filtrado y con los descriptores de color implementados.

3.1. Filtrado en el dominio de la frecuencia

Como resultado de la implementación de la Transformada de Fourier, se obtiene el espectro de la imagen que se aprecia en la figura 5. En el espectro se representan las frecuencias bajas (en el centro de la imagen) y frecuencias

altas (en las orillas de la imagen). Mediante el teorema de la convolución el filtrado de la imagen es el resultado de la multiplicación entre la imagen transformada y el filtro.

Figura 5. Espectro de una imagen transformada al dominio de la frecuencia mediante transformada de Fourier.

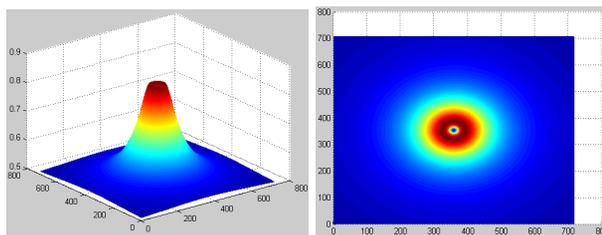


Fuente: elaboración propia.

3.2. Filtro Pasabanda

Con la aplicación del filtro pasabanda, se observa el espectro de la figura 6.

Figura 6. Espectro del filtro tipo Butterworth de primer orden pasabanda.

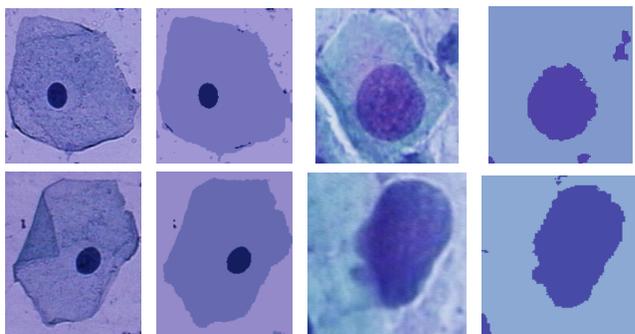


Fuente: elaboración propia.

3.3. Descriptor del Color Dominante

Evaluando el método DCD sobre la base de datos que previamente ha sido tratada con el filtrado en el dominio de la frecuencia para la corrección de iluminación y suavizado de la imagen se obtiene una nueva imagen que ha caracterizado el contenido con tres grupos de colores, cuyo resultado se presenta en la figura 7:

Figura 7. Ejemplos del resultado con DCD. Fuente: propia. Las imágenes A. y E. corresponden a células normales y las imágenes B. y F. son el resultado de aplicar el método DCD. Las imágenes C. y G. corresponden a células anormales cuyo resultado se presentan en las imágenes D y H.

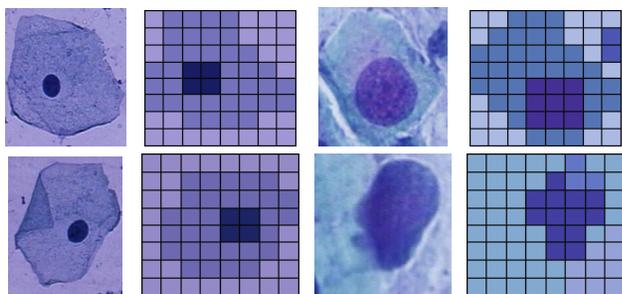


Finalmente el método logra la identificación del núcleo (n) y su contraste contra el citoplasma (c) y el fondo (f).

3.4. Descriptor de la Distribución de Color (DCC)

A partir de la selección de los 12 coeficientes (6 de la matriz de luminancia y 3 para cada crominancia) se ha construido el vector que este descriptor permite obtener para caracterizar el contenido de las imágenes. En primer lugar la imagen fue dividida, se seleccionó su color más representativo y se convirtió al espacio de color YCbCr como se observa en la figura 8.

Figura 8. Ejemplos del resultado del proceso antes de la DCT y la exploración en zigzag.



Terminados estos pasos cada imagen se ha explorado siguiendo el recorrido en zigzag para construir un vector característico que considera cualidades distintas si la célula es normal o anormal. Esto es debido a la información proporcionada por el núcleo y el citoplasma que varían la célula.

Las células anormales C y G presentan núcleos más grandes y citoplasmas menos definidos, contrario a lo observado en la figura A y E que son células normales.

4. Conclusiones

La implementación de descriptores visuales basados en el color como característica fundamental de la imagen permite la construcción de un sistema automático de análisis que distingue y resalta los componentes celulares, relevantes en la identificación de células anómalas en la muestra de citología cervical, de gran importancia en el pronóstico de lesiones precancerosas.

A partir de los datos obtenidos es posible construir un sistema clasificador que pueda ser entrenado para analizar nuevas muestras y desarrollar un sistema que pueda ser empleado para apoyar el tamizaje de cáncer cervical.

Referencias

- [1] J Ferlay, F Bray, P Pisani, and D Parkin, GLOBOCAN 2002: Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide, Tech. report, Lyon: IARC; 2004. Report No.:, 2002.
- [2] J. Ferlay, H. Shin, F. Bray, D. Forman, C. Mathers, and D. Parkin, “Estimates of worldwide burden of cancer in 2008: GLOBOCAN 2008”, International Journal of Cancer, vol. 127, no. 12, pp. 2893-2917, Dec. 2010.
- [3] A. Jemal, F. Bray, M. Center, J. Ferlay, E. Ward and D. Forman, “Global cancer statistics”, A Cancer Journal for Clinicians, Vol. 61, no. 2, pp. 69-90, Apr. 2011.
- [4] G. Papanicolaou, A new procedure for staining vaginal smears, Science 95 (1942), 438-439.
- [5] G. Papanicolaou and E. Bridges, Simple method for protecting fresh smears from drying and deteriorations during mailing, Journal of the American Medical Association 164 (1957.), 1330-1331.
- [6] Organización Panamericana de la Salud., Manual de Procedimientos del Laboratorio de Citología, Organización Panamericana de la Salud., 2002.
- [7] Organización Mundial de la Salud, Control integral del cáncer cervicouterino. Guía de prácticas esenciales, 2007.
- [8] P. Disaia and W. Creasman, Oncología Ginecológica Clínica, Elsevier Science, 2002.

- [9] J Mayer, I Bruchim, SV Blank, and P Petignat, Advancing women's cancer care. Report from the 37th Annual Meeting of the Society of Gynecologic Oncologists, Gynakol Geburtshilfliche Rundsch., 2006
- [10] Y. Marinakis, M. Marinak, and G. Dounias, Particle swarm optimization for pap-smear diagnosis, Expert Systems with Applications 35 (2008), 1645–1656.
- [11] Y. Marinakis, G. Dounias, and J. Jantzen, Pap smear diagnosis using a hybrid intelligent scheme focusing on genetic algorithm based feature selection and nearest neighbor classification, Computers in Biology and Medicine 39 (2009), 69–78.
- [12] E. Martin, Pap-Smear Classification, Master's thesis, Technical University of Denmark, 2003.
- [13] L. Camargo, Romero E., and Diaz G. Classification of squamous cell cervical cytology. Master's thesis, Universidad Nacional, 20012.
- [14] J. Byriel, Neuro-fuzzy classification of cell in cervical smears, Master's thesis, Technical University of Denmark (1999).
- [15] J. Norup, Classification of pap-smear data by transductive neuro-fuzzy methods, Master's thesis, Technical University of Denmark (2005).
- [16] R. C. Gonzalez, R. E. Woods. Tratamiento Digital de Imágenes. Ed. ADDISON-WESLEY.
- [17] P. Capilla, J. M. Artigas y J. Pujol. Fundamentos de colorimetría. Educación Serie materials.2002.
- [18] P. Capilla, J. M. Artigas y J. Pujol. Tecnología del color. Educación Serie materials.2002.
- [19] O. Penatti, E. Valle, R. Torres, Comparative study of global color and texture descriptors for web image retrieval", Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 23, no. 2, pp. 359-380, Feb. 2012.
- [20] Manjunath, J. Ohm, V. Vasudevan, A. Yamada, Color and texture descriptor, Circuits and System FOR Video Technology, IEEE Transactions, Vol. 11, Is. 6, 2001, pp. 703-715.
- [21] N Yang, W. Chang, C. Kuo, T. Li, A fast MPEG-7 dominant color extraction with new similarity measure for image retrieval, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 19, Is. 2, February 2008, pp. 92-105.