

Este artículo está destinado a estudiantes de

Palabras clave: Software, Plantas, Tecnología, Calidad, Textura

Abstract:

In many industrial applications where plants are used as raw material in the production process, is important to perform a proper phytosanitary and quality control. To perform these controls is possible by raw materials visual inspection, however, to analyze texture and color in plants would allow identifying/quantifying problems as: nutrient deficiencies; diseases (caused by fungi, bacteria, etc.), as well as to identify problems in industrial process. The aims of this paper are: (1) to develop free software (GPL) for texture analysis (GLCM), color measurement (CIELab) and color-difference calculation using CIEDE2000; (2) software application in the analysis of *Moringa oleifera* Lam leaves. For programming the software we used Perl and wxBasic languages. GNUplantex is easy-to-use software. It is available at: <http://www.2shared.com/file/tvzJPBy5/gnuplantex.html>

Keywords: Software, Plants, Technology, Quality, Texture

INTRODUCCIÓN

El análisis de imágenes cuantitativo es la extracción de información de imágenes (Glasbey y Horgan, 1994). Mediante el uso y desarrollo de la computación se han podido desarrollar numerosas técnicas de procesamiento de imágenes y sus aplicaciones son muy variadas: desde el estudio de células de algas, fibras musculares, suelos, imágenes de resonancia magnética (MRI), tomografía computarizada y ultrasonidos, hasta el análisis de imágenes satelitales (Glasbey y Horgan, 1994).

En las áreas relacionadas con la agricultura existen numerosas aplicaciones de estas técnicas de análisis. R. Ciriza y colaboradores en 2009 utilizaron los descriptores texturales de Haralick para extraer información textural de ortofotos digitales con el fin de desarrollar una metodología de actualización automática del inventario de cultivos permanentes de Navarra, España. Harpreet Kaur y Baljit Singh en 2013 realizaron clasificaciones de granos de arroz usando Multi-Class SVM. Hernandez Rodríguez en 2014 identificó subespecies de *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) mediante análisis digital de imágenes de las hojas utilizando los Coeficientes Elípticos de Fourier.

En los últimos años se han realizado numerosos avances en la identificación y detección de enfermedades en plantas mediante el análisis de imágenes. En 2011, M.Z. Rashad y colaboradores introdujeron un novedoso método para la clasificación de plantas basado en propiedades texturales usando «clasificadores combinados». Abdul Kadir y colaboradores en 2011 propusieron un método que incorpora análisis de forma, color y rasgos de textura para la clasificación de hojas de plantas. En 2013, Arun y colaboradores presentaron un sistema automático para el reconocimiento de hojas de plantas medicinales utilizando análisis de texturas de grises, dependencia espacial en escala de grises (GTSDM) y parámetros locales binarios (LBP). Jagadeesh D. Pujari y coautores en 2013 estudiaron mediante parámetros de textura y color la identificación de frutos afectados. En 2014 Narvekar y colaboradores investigaron en la detección de hojas de uva enfermas utilizando “*SGDM Matrix Method*”.

En años recientes, los avances en los dispositivos de imágenes han sido significativos y las imágenes de alta calidad pueden ser fácilmente adquiridas. Sin embargo, los progresos en el desarrollo de software de análisis de imágenes son limitados. Los paquetes de software multipropósito son extremadamente caros y requieren conocimientos avanzados (Ibaraki y Dutta-Gupta, 2015). Aún así, existe un creciente avance en el desarrollo de aplicaciones específicas para el análisis de plantas. En el sitio web <http://plant-image-analysis.org> (web-PIA) se encuentran alojados los principales software (más de 90) para el análisis de imágenes en plantas, clasificados en diferentes categorías (Lobet y colaboradores, 2013). Solo algunas de estas aplicaciones están destinadas a la clasificación y detección de enfermedades: CompuEye, Assess y WinDias están entre las más usadas. Únicamente CompuEye se encuentra bajo licencia “*freeware*”; Assess y WinDias son comercializadas. Ninguna aplicación de análisis de imágenes para plantas (alojadas en web-PIA) puede ser operada manualmente, cuatro aplicaciones de las más usadas (LeafJ, LeafVenation, Limani y WinDias) funcionan de forma semiautomática, el resto fueron diseñadas para el funcionamiento automático. Solo dos son “*open-source*” (LeafAnalyser y LeafJ) y ningún software para el análisis de enfermedades se encuentra en tal condición.

El color ha sido una variable de atención para la detección de enfermedades en plantas y frutos (Pujari, Yakkundimath y Byadgi, 2013), por otra parte, los rasgos de dependencia espacial evaluados mediante GLCM son una potente herramienta en la clasificación de texturas (Gadkari, 2004). La textura, es una de las más importantes características usadas para identificar objetos o

regiones interesantes de una imagen (Haralick y Shanmugan, 1973). Haralick y Shanmugan en 1973 propusieron uno de los más usados métodos de la actualidad. En el mismo se muestran 14 descriptores de textura, sin embargo, Conners y Harlow en 1980 establecen que solo cinco de estas medidas pueden determinar la textura de una imagen, estas medidas son: (1) *Energía o Segundo Momento Angular*, (2) *Entropía*, (3) *Contraste*, (4) *Homogeneidad o Momento Diferencial Inverso* y (5) *Correlación*.

En 1931, a raíz de que ningún conjunto finito de fuentes luminosas de color pudiera combinarse para desplegar todos los colores posibles, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), adoptó unas curvas estandarizadas para un hipotético observador estándar. Para muchas aplicaciones, el tratar con imágenes RGB, implica la obtención de resultados no óptimos. La razón es la no uniformidad de dicho espacio de color, y la no separación de la información de «luminancia» y «crominancia» (Ford y Roberts, 1998).

El modelo CIEXYZ tiene gran importancia, pues hace de puente entre el modelo RGB y el modelo CIELAB, que se pretende obtener, con el fin de tener una apreciación de diferencias de color más acordes con el sistema de visión humana (SVH) (Ford & Roberts, 1998). Para la obtención de diferencias de color han sido desarrollados varios métodos por CIE. CIEDE2000 es considerablemente más sofisticado que metodologías anteriores como CIE94 (Sharma, Wu & Dalal, 2005).

La *Moringa oleífera* Lam. (Moringaceae) es una planta de gran importancia mundial por sus propiedades medicinales y terapéuticas. Ha sido utilizada en la producción de bebidas energéticas-nutritivas y sus propiedades medicinales has sido ampliamente estudiadas (Marcet y colaboradores, 2014).

El objetivo de este trabajo es diseñar y programar un software libre (GPL v3.0: <http://www.gnu.org/licenses/>) para el análisis de textura y color, y aplicar el software al análisis de un conjunto de hojas de *Moringa oleífera* Lam para comprender la «significación biológica» de los parámetros estadísticos calculados por el software.

Materiales y Métodos

Diseño de la función de cálculo de textura

Para el diseño de la función de cálculo de textura se supuso que el usuario introducirá las texturas recortadas en secciones rectangulares, preferiblemente cuadradas. Se calculan las matrices de dependencia espacial según Haralick (Haralick y Shanmugan, 1973), obteniendo las GLCM ($p(i,j)$) con una distancia (d) de 1 píxel y las orientaciones (φ) 0° , 45° , 90° y 135° . Mediante las GLCM se obtienen los descriptores texturales de mayor importancia (Figura 1) y se promedian.

Notación N_g Número de distintos niveles de grises en la imagen.
 $p(i, j)$ Matriz de dependencia espacial normalizada.
 μ_x, μ_y, σ_x y σ_y son las medias y la desviación estándar.

$$f_1 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \{p(i, j)\}^2 \quad \text{Segundo Momento Angular (1)}$$

$$f_2 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i - j)^2 p(i, j) \quad \text{Contraste (2)}$$

$$f_3 = - \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} p(i, j) \log\{p(i, j)\} \quad \text{Entropía (3)}$$

$$f_4 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j) \quad \text{Momento Diferencial Inverso (4)}$$

$$f_5 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{(i - \mu_x)(j - \mu_y)}{\sigma_x \sigma_y} p(i, j) \quad \text{Correlación (5)}$$

Figura 1. Descriptores texturales de Haralick de mayor significación.

Diseño de la función de cálculo y diferencia de color

Será necesario, primeramente, convertir del espacio de color RGB a CIELab. Tal conversión se ejecuta mediante el espacio intermedio CIEXYZ. Para realizar dichas conversiones se diseñó una sub-aplicación que permitiese seleccionar los blancos de referencia (D50, D65 y otros), parámetros que influyen en la conversión de RGB a CIEXYZ y los valores de referencia XYZ para la conversión a CIELab.

El diseño de un algoritmo para el cálculo de la diferencia de color se llevó a cabo mediante la metodología CIEDE2000.

Programación de las funciones y de la aplicación general

Se usaron los lenguajes Perl (<http://ActiveState.com/>) y wxBasic (<http://wxbasic.sourceforge.net/>) para el diseño de la interfaz gráfica y programación de las funciones de cálculo. Estos lenguajes son muy versátiles y son compatibles con casi todos los sistemas operativos conocidos. Para el diseño de las imágenes usadas en la interfaz gráfica se utilizó InkScape 0.48 (<http://inkscape.org>).

Obtención de las imágenes de Moringa oleifera Lam y selección de sección para el análisis de textura y color en el nuevo software

Las imágenes se obtuvieron usando una cámara digital CANON EOS 450D bajo una temperatura de luz de $\cong 5003$ K (D50). Se obtuvieron fotografías de 10 hojas recién cortadas. Entre las hojas fotografiadas se incluyeron hojas dañadas en diferentes estados. Se tomaron muestras de 192 x 192 pixel (parte central de las hojas) de las imágenes obtenidas para el análisis de textura y color en el nuevo software.

Análisis estadístico de los resultados

El análisis estadístico se basó principalmente en la interpretación del coeficiente de variación (%C.V.) y correlación de Pearson con el objetivo de

demostrar la efectividad/significancia de los parámetros de textura y color calculados.

RESULTADOS

Luego de la programación de las funciones, sub-aplicaciones y diseño de la interfaz gráfica se obtuvo un software para el cálculo de parámetros de textura y color en plantas (Fig. 2).

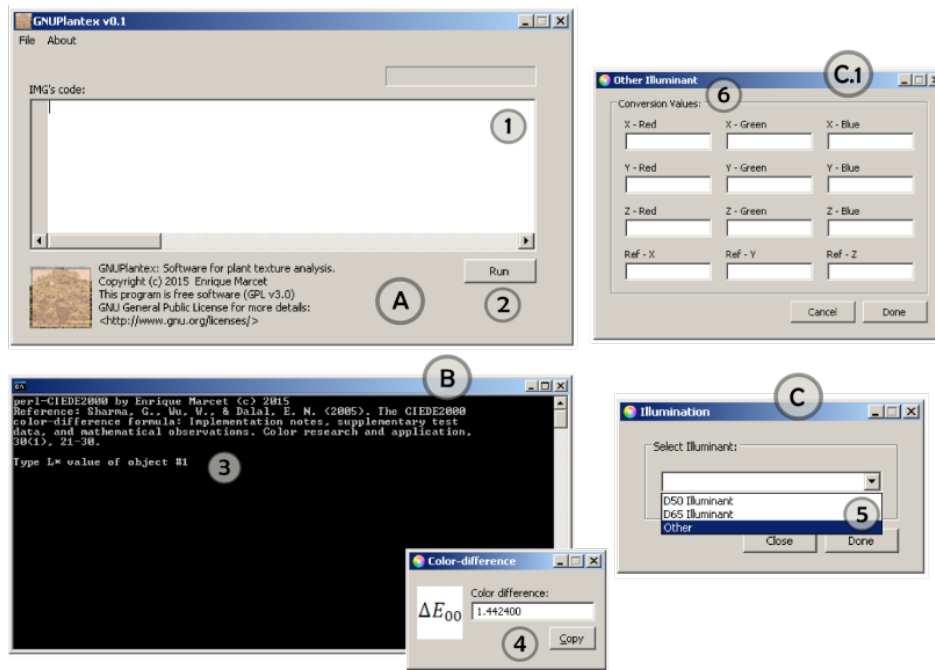


Figura 2. Software para el análisis de textura y color en plantas.

(A) Aplicación principal para el análisis de textura y color. (B) Aplicación para el cálculo de diferencia de color utilizando CIEDE2000. (C) Aplicación para seleccionar iluminante. (C.1) Herramienta para introducir otro iluminante conociendo los valores de conversión.

Utilizando el software (Fig. 2 A) se determinaron los descriptores texturales (Fig. 1) y el color en CIELab de las secciones (192 x 192 pixel) de las 10 hojas de *Moringa oleifera* Lam. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos.

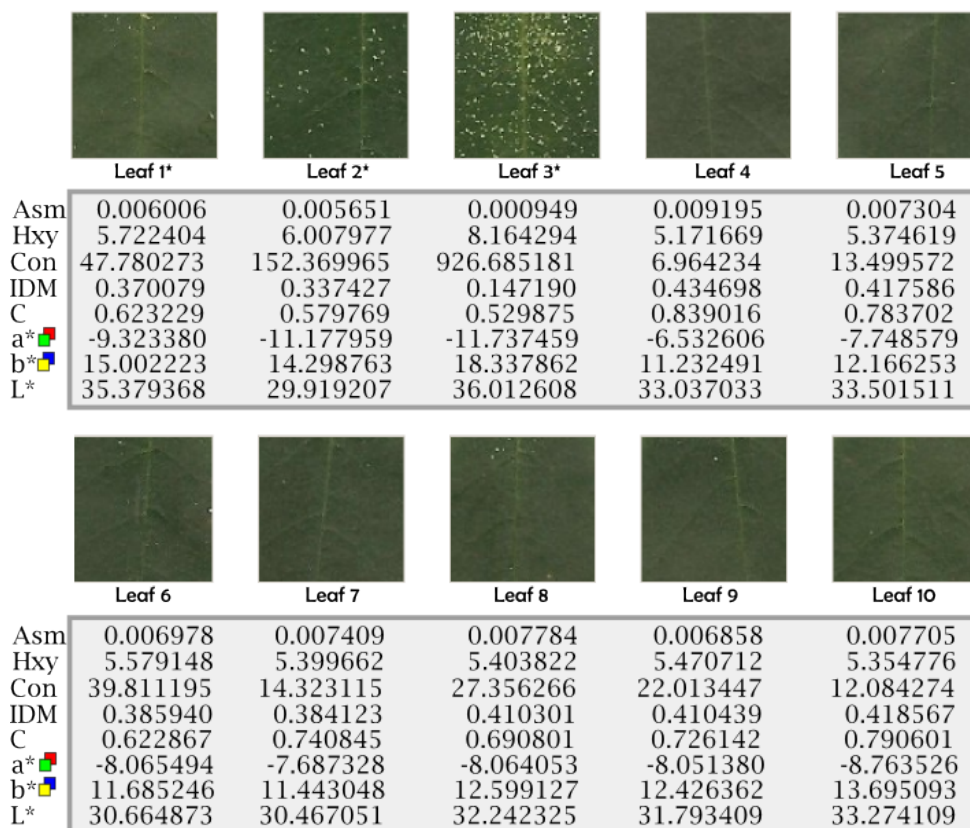


Figura 3. Parámetros de textura y color de las hojas (leaf) de *Moringa oleifera* Lam. analizadas.

(**Asm**) Segundo momento angular. (**Hxy**) Entropía. (**Con**) Contraste. (**IDM**) Momento diferencial inverso. (**C**) Correlación. (**a***) **coordenadas rojo/verde** (+a indica rojo, -a indica verde). (**b***) **coordenadas amarillo/azul** (+b indica amarillo, -b indica azul). (**L***) Luminosidad.

DISCUSIÓN

El software (versión 0.1) está diseñado para operar sobre Windows principalmente, aunque puede ejecutarse en Linux y Mac sin inconvenientes; solo sustituyendo las máquinas virtuales de Perl y wxBasic. Se distribuye libre y gratuitamente bajo GPL (<http://www.gnu.org/licenses/>) versión 3.0.

El paquete del software (**gnuplantex.zip**) contiene lo siguientes archivos y directorios:

/help	Directorio que contiene los archivos de ayuda.
/lib	Archivos y funcionalidades de cálculo del software.
/source	Código fuente del software.
/work	Directorio de trabajo.
color_difference.bat	Aplicación para el cálculo de las diferencias de color.
define_illuminant.bat	Aplicación para definir y/o ajustar iluminación.
gnuplantex.exe	Aplicación principal (Máquina virtual para Windows).
GPLv3.0.txt	Licencia GPL de la Free Software Fundation.
plantex.inc	Funciones de la aplicación principal.

Tabla 1. Archivos y directorios del software incluidos dentro del paquete principal (gnuplantex.zip).

Las aplicaciones son compatibles con todas las versiones de Windows y realizando un cambio de máquina virtual es posible su ejecución en otros sistemas operativos.

(ver <http://ActiveState.com/>, <http://wxbasic.sourceforge.net/>)

Aplicación principal (Tabla 2, gnuplantex.exe).

La aplicación principal (Fig. 2 aplicación A) permite obtener directamente los valores de textura y color de las imágenes deseadas. Opera como una aplicación portable y tiene definido su propio espacio de trabajo. El directorio “\work” (espacio de trabajo), ubicado en la raíz del software (Tabla 1), es donde obligatoriamente deben encontrarse todas las imágenes que se deseen analizar. En el cuadro de texto “IMG’scode” (Fig. 2 aplicación A. sección 1) se debe escribir el “código de imagen” que hace referencia a las imágenes que se desean analizar. La sintaxis general del código de imagen es:

{**[Cantidad de Imágenes a analizar]; [imagen₁.extensión]; [imagen₂.extensión]; ...;[imagen_n.extensión]}**

Por ejemplo: si se desean analizar las imágenes “plantaA.png” y “plantaB.jpg”, el código es el siguiente: **2; plantaA.png; plantaB.jpg**, luego se presiona el botón “Run” (Fig. 2 aplicación A. sección 2) para ejecutar el algoritmo.

Procesadas las imágenes, el software da la posibilidad de salvar los resultados en un archivo “.CSV” (visible desde Microsoft Excel) y muestra los parámetros de textura y color calculados para cada una de las imágenes procesadas.

Cuando se opera con una cantidad significativa de datos y se desean realizar análisis especiales, es posible que exista la necesidad de uso de un software para la transformación de matrices. TransMatrix puede ser usado con diversos

propósitos y modificado según los criterios del usuario para ejecutar operaciones más complejas con los datos (Marcet y colaboradores, 2015).

Aplicación para el cálculo de diferencias de color (Tabla 2, color_difference.com).

Teniendo los colores de dos objetos en CIELab, mediante color_difference (Fig. 2 aplicación B. sección 3) se introducen los valores L^* , a^* y b^* para cada uno de los objetos o parte de estos y automáticamente es calculada la diferencia de color según CIEDE2000. El resultado se muestra en un formulario del cual es posible copiarlo fácilmente (Fig. 2 aplicación B. sección 4).

Aplicación para definir/ajustar la iluminación (Tabla 2, define_illuminant.com).

La iluminación es una de las variables más importantes a tener en cuenta cuando se obtiene una imagen. Por defecto, el software trae ajustado el iluminante *D50*, es decir, 5003 K de temperatura de color. *D65* (6504 K) es otra de las opciones disponibles (Fig. 2 aplicación C. sección 5). Es importante entender, que en el espacio de color CIELab «interviene» la luminosidad, por ello, definir correctamente el iluminante utilizado es importante.

Si trabajamos, por ejemplo, bajo una luz fluorescente blanca fría, lo correcto es encontrar los valores de conversión de esta fuente luminosa y definirlos en la

aplicación. Para esto seleccionamos la opción "Other" e introducimos los valores en el formulario (Fig. 2 aplicación C.1. sección 6).

Análisis de los resultados de textura y color en las hojas de *Moringa oleifera* Lam.

Las hojas 1, 2 y 3 de la Figura 3 son las hojas dañadas que fueron seleccionadas según la intensidad del daño: hoja 1 (daño leve), hoja 2 (daño medio), hoja 3 (daño significativo); el resto de las hojas, fueron tomadas al azar de diferentes partes de la planta.

Significación de descriptores texturales en el estudio de plantas:

Los resultados (Fig. 3) muestran como el **ASM** (Segundo Momento Angular) disminuye con el aumento de la enfermedad en las tres primeras hojas y se mantiene «estable» en el resto (C.V. = 10.25%). El **ASM** aumenta con la «suavidad» de la textura, por ello, cuando aparezcan manchas en una parte de la planta, el **ASM** tiende a disminuir notablemente. La entropía (**Hxy**) representa el «nivel de desorden», por ello, es más alta en las tres primeras hojas (alcanzando hasta 8.16) y mantiene su valor (de 5.171 a 5.579) en el resto de las hojas. Es una medida muy eficaz para controlar el avance de una enfermedad y/o asociar estos resultados a la calidad.

Por otra parte, es posible observar como el contraste (**Con**) «no es una medida muy buena» para estos estudios. Los valores varían y presentan un comportamiento radical (C.V. = 57% de hoja 4 a 10). Por ejemplo, no existen

cambios «marcados» entre las texturas de las hojas 4 y 5, sin embargo el contraste aumenta casi el doble (de 6.96 a 13.49). Desde otro ángulo, esta «radicalidad» puede ser usada a favor del control de la calidad en cualquier proceso.

El **IDM** (Momento Diferencial Inverso) y la Correlación (**C**) son medidas de mucho interés, ambas decrecen con la aparición de manchas en las hojas de la planta y aumentan cuando la textura de la planta es más homogénea. El coeficiente de correlación de Pearson entre IDM y Correlación equivale a 0.779, lo que demuestra la alta correlación positiva entre estas dos medidas. **IDM** es conocida también como homogeneidad, y es inversamente proporcional con el Contraste (**C**). El coeficiente de correlación de Pearson entre el **IDM** y el Contraste (**C**) en este estudio equivale a -0.974 ($\cong 1$), lo que demuestra una correlación negativa «casi perfecta». Sin embargo, es notable que el IDM no varía bruscamente como la hace el contraste. De la hoja 4 a la 10 para el IDM el C.V. = 4.4 %.

Estas medidas no solo son útiles para estudiar las enfermedades y realizar controles de calidad, pueden servir para caracterizar variedades e identificarlas, aunque para esto existen metodologías más avanzadas que disponen de mayor exactitud. Pueden realizarse Análisis de Componentes Principales (ACP) en estudios particulares para obtener cuáles de estas medidas pueden tomarse en consideración por encima de otras.

Significación del color.

El color en CIELab es definido sobre las coordenadas a^* y b^* . Las coordenadas rojo/verde (a^*) y las coordenadas amarillo/azul (b^*). Para a^* , los positivos indican el rojo y los negativos el verde. Para b^* , los positivos indican el amarillo y los negativos el azul. Un criterio lógico, es que en las hojas de la *Moringa oleífera* solo se observen colores verdes y amarillos. En la Figura 3 se observa la veracidad de este criterio: a^* siempre es negativo y b^* positivo.

En la Figura 3, en las tres primeras hojas (hojas dañadas) es posible observar como la cantidad de verde aumenta (se obvia el signo negativo) a medida que se incrementa el daño. *Este fenómeno no es consecuente con lo que ocurre.* Supuestamente, aparecen «machas blancas donde antes había verde», por lo que es de esperar que el color verde disminuya. Sin embargo, al no estar analizando la misma hoja (son hojas diferentes con diferente proporción de daño), pudiese ocurrir que la **hoja 2** posea «más verde» que la **hoja 1** antes del daño y la enfermedad no logre disminuir el verde de la **hoja 2** lo suficiente con respecto a la **hoja 1**, como ocurre en nuestro análisis.

El amarillo (b^*) aumenta considerablemente con el progreso de la enfermedad hasta 18.337. Aparecen manchas de color blanco-amarillento y esto provoca un incremento del amarillo. Sin embargo, la Hoja 1 tiene más amarillo que la Hoja 2, y el daño en la Hoja 2 es mayor. Aquí sucede algo similar a lo ocurrido con el

verde: la Hoja 1 es más amarilla que la Hoja 2, un factor independiente a la enfermedad o daño.

Por los aspectos vistos anteriormente, el color debe trabajarse con precaución; cualquier conclusión está sujeta a errores si no se tienen en cuenta todos aquellos criterios que pudiesen influir en el color. La fusión de los descriptores texturales y el color constituyen una herramienta más poderosa que ayuda a tomar mejores decisiones.

Seccionamiento y resolución:

El seccionamiento es una cuestión algo «controvertida» (los tamaños de las secciones y la resolución). En este trabajo se tomaron secciones de 192 x 192 pixel, pero la sección adecuada varía en cada estudio, dependiendo de la parte de la planta que se analice y particularidades de cada caso. Las matrices de dependencia espacial que calcula el software están normalizadas, lo que «ayuda» con los problemas del tamaño de las secciones. Dos imágenes iguales, con diferente resolución, implica que en una imagen hay más información visual que en la otra, lo que trae cambios en la GLCM y cambios en los descriptores texturales. Estos cambios pueden ser triviales o afectar un estudio considerablemente.

En todo estudio se debe tratar de mantener constante la resolución al igual que las medidas de las secciones. El software opera con secciones cuadradas, pero admite rectangulares. El algoritmo realiza un recorte haciendo la sección cuadrada, por ello, se considera conveniente que el investigador realice los

recortes de forma cuadrada desde el comienzo, definiendo en esa sección cuadrada toda aquella información visual que le sea de interés. De esta forma se obtienen mejores resultados.

Ejemplos de aplicación industrial:

Entre las aplicaciones industriales más prácticas de GNU Plantex se encuentran el control de la calidad en la materia prima (hojas y partes de plantas) en la producción de extractos vegetales (principalmente para uso medicinal).

Requerimientos y disponibilidad:

GNUPlantex funciona prácticamente en cualquier ordenador, aunque para aumentar la velocidad en las operaciones se recomienda el uso de procesadores Pentium 3 (mínimo); 512 MB de RAM (mínimo) y sistema operativo Windows XP o superior.

Puede ser descargado libremente desde:

<http://www.2shared.com/file/tvzJPBy5/gnuplantex.html>

MD5: 17CEF1C35CE788DBA4BB731D0DD4B843

El código **MD5** permitirá comprobar la autenticidad del archivo descargado por el usuario.

Conclusiones:

1. El nuevo software para el análisis de textura y color es una herramienta importante que permite a los investigadores desarrollar abiertamente métodos de control de calidad.

2. Permite controlar la calidad en procesos de vital importancia como los asociados a la industria médica y alimenticia.

3. El nuevo software constituye una herramienta compatible que por su carácter de software libre puede ser mejorada bajo los criterios de diversos especialistas.

Referencias:

Glasbey, C. A., & Horgan, G. W. (1995). *Image analysis for the biological sciences* (Vol. 1). Chichester: Wiley.

Ciriza, R., Albizua, L., & de Audicana, M. G. (2009). Análisis de la utilidad de los descriptores texturales de Haralick para la localización arranques de frutal en ortofoto. *Mapping: Map and Sigconsulting*, (138), 52-56.

Kaur, H., & Singh, B. (2013). Classification and grading rice using multi-class SVM. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(4), 1-5.

Hernández, M. (2014). Identificación de las subespecies de *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) mediante análisis digital de imágenes de las hojas. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*. 3(2): 53-60.

Rashad, M.Z., el-Desouky, B.S., Khawasik, M.S. (2011).Plants Images Classification Based on Textural Features using Combined Classifier. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT).3(4): 93-100.

Kadir, A., Nugroho, L.E., Santosa, P.I. (2011).Leaf classification using shape, color, and texture. International Journal of Computer Trends & Technology (IJCTT). 225-230.

Arun, C.H., Sam Emmanuel, W.R., Durairaj, D.C. (2013). Texture Feature Extraction for Identification of Medicinal Plants and Comparison of Different Classifiers. International Journal of Computer Applications (0975-8887).62(12): 1-9.

Pujari, J.D., Yakkundimath, R., Byadgi, A.S. (2013). Reduced color and texture features based identification and classification of affected and normal fruits' images. International Journal of Agricultural and Food Science. 3(3): 119-27.

Narvekar, P.R., Kumbhar, M.M., Patil, S.N. (2014). Grape Leaf Diseases Detection & Analysis using SGDM Matrix Method. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2(3): 3365-72.

Ibaraki, Y., Dutta-Gupta, S. (2015).Image analysis for plants: basic procedures and techniques. Plant image analysis. Fundamentals and applications. CRC Press. 25-40.

Lobet et al. (2013). An online database for plant image analysis software tools. Plant Methods. 9(38): 1-7.

Gadkari, D. (2004). Image quality analysis using GLCM (Doctoral dissertation). University of Central Florida Orlando, Florida. 2-10.

Haralick, R.M., Shanmugan, K. (1973). Texture features for image classification. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetic. SMC-3(6): 610-21.

Connors, R., Harlow, C. (1980). Some theoretical considerations concerning texture analysis of radiographic images. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetic.

Ford, A., & Roberts, A. (1998). Colour space conversions. *Westminster University, London, 1998*, 1-31.

Sharma, G., Wu, W., Dalal, E.N. (2005). The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. Color research and application. 30(1): 21-30.

García, E. M., Sánchez, M. M., Gago, M. M., Ramos, Y. R., & Berenguer, M. B. (2014). Producción sostenible de bebidas nutritivas. *Avanzada Científica*, 17(1), 44-52.

Haralick, R.M. (1979). Statistical and structural approaches to texture. Proc. IEEE. 1979; 67(5):786–804.

Faugeras, O., Pratt, W. (1980). Decorrelation methods of texture feature extraction. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. PAMI-2(4):323–332.

Easyrgb.com [homepage on the Internet]. Easy RGB Color. Disponible en: <http://www.easyrgb.com/>

García, E. M., Palacios-Callender, M., & Sánchez, M. M. (2015). Diseño y programación de un software de transformación de matrices para el análisis de redes.

Redes. Revista hispana para el análisis de redes sociales, 27(1), 73-80. DOI:

<http://dx.doi.org/10.5565/rev/redes.602>