

.....

Sistema de bancos de filtros en el dominio de la frecuencia para segmentación de imágenes digitales en el control de crecimiento de cultivos

Filter banks system in frequency domain for digital imaging segmentation in controlling crop growth

Gonzalez B. Javier E.¹, Puentes Nestor², Verdugo Diego²

ABSTRACT

This paper presents a strategy for improving the measurement of plant growth, based on digital image processing. This strategy facilitates the segmentation of the regions of interest. We used the filter bank technique in the frequency domain, because the frequency domain has presented positive results in order to highlight the textures of growing plants. We offer a tool to automatically measure the size of each plant. The proposed tool is oriented to systems analysis and the control of crop growth .

Keywords: Filter bank, frequency domain, texture, plants.

RESUMEN

Este trabajo se propone una estrategia para mejorar la medición del crecimiento de plantas basada en el procesamiento digital de imágenes. Esta estrategia permite realizar la segmentación de los sectores de interés por medio de la técnica de banco de filtros en el dominio de la frecuencia. El procesamiento en el dominio de la frecuencia ha presentado resultados positivos con la finalidad de poder resaltar la texturas de plantas en cultivo. Desarrollamos una herramienta para medir automáticamente el tamaño de cada planta. La herramienta propuesta está orientada a sistemas de análisis y control de crecimiento de cultivos.

Palabras claves: Banco de filtros, dominio de la frecuencia, texturas, plantas.

e-mail: javiergonzalezb@usantotomas.edu.co e-mail: nestorpue@hotmail.com e-mail: verdugo.89@hotmail.com

¹ Ingeniero Electrónico, Msc. Docente. Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C. Colombia.

² Ingeniero Electrónico. Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C. Colombia.



INTRODUCCIÓN

El procesamiento digital de imágenes es un área de la ingeniería que ha permitido el diseño y desarrollo de aplicaciones para automatizar diferentes procesos que comprometen ejercicios de inspección visual. Un ejemplo de un proceso de inspección que requiere el sentido de la visión, es el control del crecimiento de cultivos.

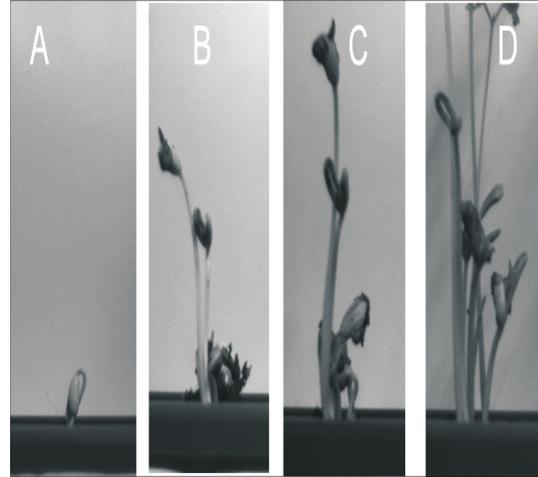
En el contexto del análisis y control del crecimiento de cultivos, el procesamiento digital de imágenes ha generado contribuciones para procesos de clasificación e inspección de zonas con plantas típicas de bosque a través de la adquisición soportada por cámaras digitales con la finalidad de supervisar el crecimiento a nivel superficial [9,10]. También se han elaborado trabajos orientados para el control de crecimiento de componentes importantes de la planta como son las raíces [11].

El principal objetivo de este trabajo es aprovechar la información recolectada en las imágenes digitales adquiridas en diferentes estados del crecimiento de plantas en un cultivo y que teóricamente está asociada al concepto de textura [3]. Para el tratamiento de la información obtenida se ha generado una propuesta de implementación de un banco de filtros en el dominio de la frecuencia para resaltar las componentes espectrales asociadas a la textura de plantas presentes en imágenes digitales. Este procedimiento facilita el proceso de segmentación para cuantificar el crecimiento de cultivos a través del procesamiento digital de imágenes.

En el territorio colombiano, se han desarrollado múltiples aplicaciones para resaltar componentes en el dominio de la frecuencia a través de bancos de filtros. Dentro de las aplicaciones se destacan el análisis de texturas de rostros y la detección de defectos superficiales de piezas metálicas [13].

En la fig. 1 se puede ver un ejemplo de un cultivo de plantas de frijol en diferentes etapas de crecimiento. Esta secuencia fotográfica fue tomada con adquisiciones de imágenes digitales en periodos de 24 horas entre cada una de ellas.

Fig.1. Ejemplo de un cultivo de plantas, en condiciones controladas y en diferentes etapas de crecimiento. Caso de estudio: Frijol Rojo.



Como se observa en la fig 1, el crecimiento del cultivo bajo estudio es un proceso que se puede controlar visualmente de manera cualitativa. Este proceso es de fácil automatización a través de adquisiciones de imágenes digitales en diferentes tiempos y bajo condiciones de luz controladas.

Las imágenes digitales adquiridas en diferentes etapas del crecimiento de un cultivo pueden ser tomadas como una función de intensidad de luz almacenada en la matriz $A(x,y)$. El espectro de la función de intensidad se puede almacenar en la variable bidimensional $A(u,v)$ y se puede calcular usando la Transformada de Fourier bidimensional (FFT2) en (1).

$$A(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} A(x,y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M}\right)} \quad (1)$$

Para obtener una modificación del espectro $A(u,v)$ se procede a multiplicar por la función $H(u,v)$ que desempeña el papel de una máscara en el dominio espectral y se obtiene la función $B(u,v)$, como se puede ver en (2).

$$B(u,v) = A(u,v).H(u,v) \quad (2)$$

$H(u,v)$ puede definirse como un filtro pasa bajos (LP) a través de (3). Donde L es el radio que delimita la banda de paso.

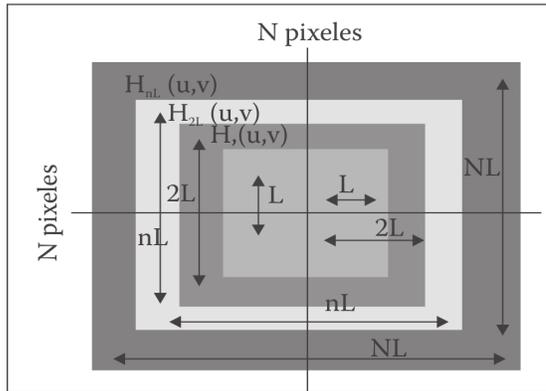
- Sistema de bancos de filtros en el dominio de la frecuencia para segmentación de imágenes digitales •

$$H_{LP}(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } u < L \text{ y } v < L \\ 0 & \text{si } u > L \text{ y } v > L \end{cases} \quad (3)$$

Al multiplicar la función $H_{LP}(u, v)$ con el espectro de la imagen $A(u, v)$ se obtiene una anulación de las componentes espectrales que no están contenidas en el radio L . Las componentes espectrales contenidas dentro del radio permanecen intactas. Este procedimiento permite estudiar cómo las componentes de baja frecuencia contribuyen a la información contenida dentro de la imagen.

El valor de L se puede obtener a través de un método iterativo a partir de una familia de máscaras en el dominio de la frecuencia. La fig. 2 ilustra un ejemplo de una familia de máscaras pasa bajo, producto de variaciones iterativas del valor de L en función de la variable entera n .

Fig. 2. Máscara pasa bajos en función de la variable L en n diferentes iteraciones.



Para el caso de la máscara pasa altos [1,2], se utiliza la función descrita en (4). En este caso, la función $H_{HP}(u, v)$ anula las componentes espectrales contenidas dentro del radio L . Este procedimiento permite analizar la contribución que aportan las componentes de alta frecuencia. El uso de la máscara pasa alto permitirá resaltar los bordes de la imagen digital bajo estudio.

$$H_{HP}(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{si } u < L \text{ y } v < L \\ 1 & \text{si } u > L \text{ y } v > L \end{cases} \quad (4)$$

A partir de las máscaras pasa bajos y pasa altos, es posible generar una nueva función denomi-

nada pasa banda con la posibilidad de atenuar las componentes de frecuencia de la imagen que no aportan información de interés. En (5) se describe la máscara pasa banda.

$$H_{BP}(u, v) = H_{LP}(u, v) \cdot H_{HP}(u, v) \quad (5)$$

Si se necesita atenuar una banda específica de componentes espectrales de la imagen bajo estudio, es posible generar una máscara denominada rechaza banda usando la función pasa banda anterior. Ver ecuación (6).

$$H_{BR}(u, v) = 1 - H_{BP}(u, v) \quad (6)$$

Tomando el espectro contenido en la función $B(u, v)$, se puede obtener una imagen procesada en el dominio del espacio. Este proceso es realizado a través del uso de la transformada bidimensional de Fourier Inversa (IFFT2), descrita en (7).

$$B(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{M-1} B(u, v) e^{j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})} \quad (7)$$

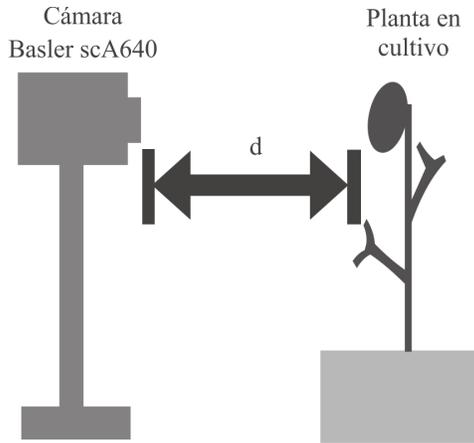
A través del procesamiento en el dominio de la frecuencia de una imagen se estudia la Textura [3], como una de las principales características que representa los cambios en sus valores asociados a las irregularidades de la superficie del objeto.

Se ha determinado, que el espectro de una imagen contiene información que permite asociar las componentes espectrales con diferentes tipos de texturas que pertenecen a sectores definidos de la imagen. El análisis de texturas ha sido reportado en la literatura con resultados positivos para aplicaciones de segmentación [4], reconocimiento de objetos [5], extracción de información de la magnitud y fase del espectro [6] y recuperación de imágenes [7,8].

MATERIALES

El experimento se realizó usando imágenes digitales monocromáticas adquiridas con una cámara del fabricante Basler con referencia sca640-70fm con 1M pixel de resolución conectada a un

Fig.3. Sistema de adquisición de imágenes para una planta en cultivo bajo condiciones de luz controlada.



computador personal través de un puerto digital IEEE 1394b. Las imágenes fueron adquiridas utilizando un lente con distancia focal de 8mm y apertura máxima F1.4. La fig. 3 ilustra un modelo conceptual del escenario generado para la adquisición de las imágenes. La distancia d entre la cámara y la planta fue de 40 cms.

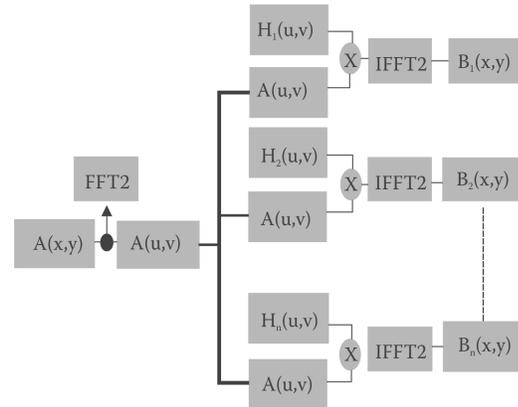
Para poder tener una secuencia de crecimiento, se realizaron adquisiciones de imágenes casa 24 horas durante dos semanas (14 días). El tipo de planta escogida fue el tradicional frijol rojo colombiano. Esta planta que tiene la facilidad de crecer en un medio de fácil control. Este tipo de planta presenta un promedio de tiempo de geminación de aproximadamente 15 días.

Para la adquisición de imágenes se utilizó la herramienta informática basada en programación gráfica *LabView* y su grupo de funciones dedicadas a visión artificial: *IMAQ*. Los algoritmos para el tratamiento de las imágenes y su procesamiento en el dominio de la frecuencia fueron desarrollados en la herramienta informática *Matlab*.

MÉTODOS

Teniendo en cuenta el procesamiento en el dominio de la frecuencia de una imagen digital, se diseñó la arquitectura del banco de filtros que opera basados en máscaras $H_n(u,v)$, como se

Fig.4. Diagrama de bloques del diseño del sistema de filtrado en el dominio de la frecuencia. El sistema toma una imagen de entrada $A(x,y)$ y aplica, en el dominio de la frecuencia, un conjunto de máscaras $H_n(u,v)$.

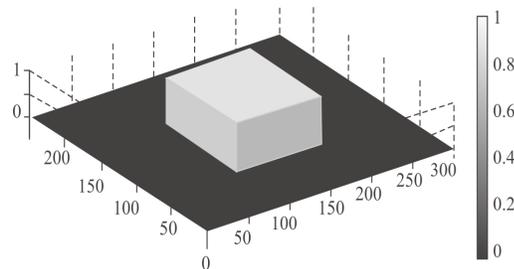


aprecia en fig. 4. El sistema toma una imagen de dimensiones $N \times N$ adquirida en intensidades de grises $A(x,y)$ y extrae su espectro $A(u,v)$ a través de la FFT2. El espectro $A(u,v)$ es sometido a un conjunto de máscaras $H_n(u,v)$.

El espectro obtenido al operar la función $A(u,v)$ con cada máscara se debe operar con la IFFT2 para obtener una imagen de salida.

Con la finalidad de determinar las componentes de bajas frecuencias de la textura asociada al sector de interés, se procedió a implementar el banco de filtros con una familia de máscaras pasa bajos. La dimensión de la máscara pasa bajos es de $N \times N$ píxeles y el radio L aumenta iterativamente. La fig. 5 ilustra un ejemplo de la máscara pasa bajos para $L = 50$.

Fig. 5. Ejemplo de máscara pasa bajos para el procesamiento de una imagen en el dominio de la frecuencia.



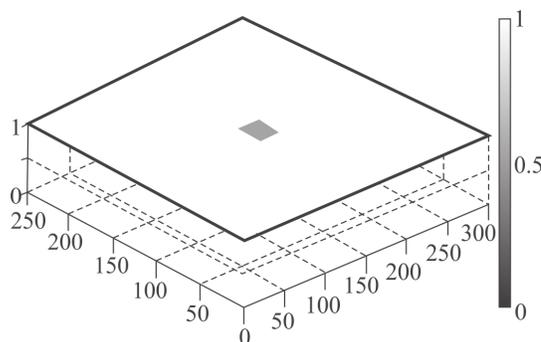
A través de las líneas de código implementado en la herramienta digital Matlab, se genera la familia de máscaras pasa bajos y la modificación del espectro de la imagen de entrada. Las siguientes líneas de código utilizan una imagen digital adquirida y almacenada en la variable A con dimensiones descritas en las variables F y C .

```
[F C]=size(A);
AF=fftshift(fft2(A));
H=zeros(F,C);
m1=F/2;
m2=C/2;
L=100;
for i=1:25;
    L1=1+i;
    H(m1-L1:m1+L1, m2-L1:m2+L1)=1;
    A2F=AF.*H;
    A2=ifft2(fftshift(A2F));
    A2=uint8(real(A2));
end
```

Las anteriores líneas de código generar una matriz H de ceros de igual dimensión a la variable A . El ciclo tipo *for* empieza a generar un grupo de valores unitarios con radio L . En cada iteración del ciclo aumenta el radio L y se genera una nueva máscara que se opera con la variable AF , que contiene el espectro de la imagen bajo estudio.

Para el caso de las máscaras para altos, se ha implementado otro banco de filtros con el mismo

Fig. 6. Ejemplo de máscara pasa altos para el procesamiento de una imagen en el dominio de la frecuencia.



sistema de iteraciones. La fig. 6 ilustra un ejemplo para este tipo de máscara para $L=10$.

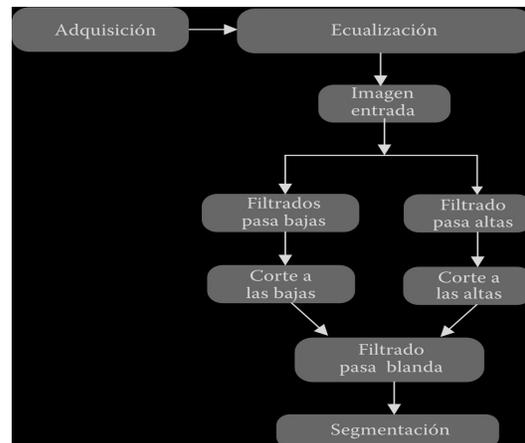
Con líneas de código implementadas en la herramienta Matlab, se puede generar una familia de máscaras pasa altos para operar el espectro de la imagen bajo estudio.

```
H1=ones(F,C);
for i=1:5;
    L=1+i;
    H1(m1-L:m1+L, m2-L:m2+L)=0;
    A2F=AF.*H1;
    A2=ifft2(fftshift(A2F));
    A2=uint8(real(A2));
end
```

El algoritmo para generación de la familia de máscaras pasa altos genera la variable $H1$ que contiene una matriz cuyos valores son igual a uno. Para cada iteración se genera un grupo de valores igual a cero en el centro de la máscara con radio igual a L . Este radio crece para cada iteración.

Cuando se obtienen los valores del radio L para cada tipo de máscara, se genera la función pasa banda. Esta función permite concentrar las componentes espectrales asociadas a la textura de la planta. La función pasa banda facilita la segmentación de los pixeles de la planta.

Fig. 7. Diagrama de bloques que describe la metodología implementada para el procesamiento de la imagen adquirida a través de la estrategia de bancos de filtros en el dominio de la frecuencia.



Al tener segmentados los píxeles que pertenecen a la región de la planta, se podrá calcular el porcentaje con relación a los píxeles totales de la imagen. La expresión (8) permite el cálculo del porcentaje de píxeles que corresponden a la planta.

$$\% \text{píxeles} = [\text{Píxeles Planta} / (N \times N)] \times 100 \quad (8)$$

Con base a la metodología expuesta anteriormente se presenta el diagrama de bloques contenido en la fig 7. Este diagrama permite ver los pasos sugeridos para el procesamiento digital de la imagen adquirida durante el crecimiento de la planta.

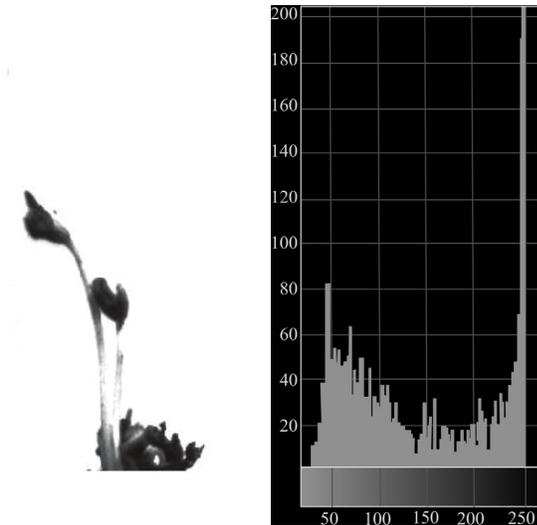
RESULTADOS

Las imágenes adquiridas fueron tratadas a través del algoritmo de ecualización adaptativo implementada en la herramienta informática *Matlab*[®]. La fig. 8 contiene una imagen digital adquirida en una de las etapas de crecimiento junto con su histograma.

La fig. 9 contiene el resultado de aplicar un proceso de adaptación del histograma para mejorar el contraste de la imagen adquirida.

A partir de la imagen de entrada ecualizada se procede a utilizar los bancos de filtros en el dominio de la frecuencia. Al aplicar el banco de

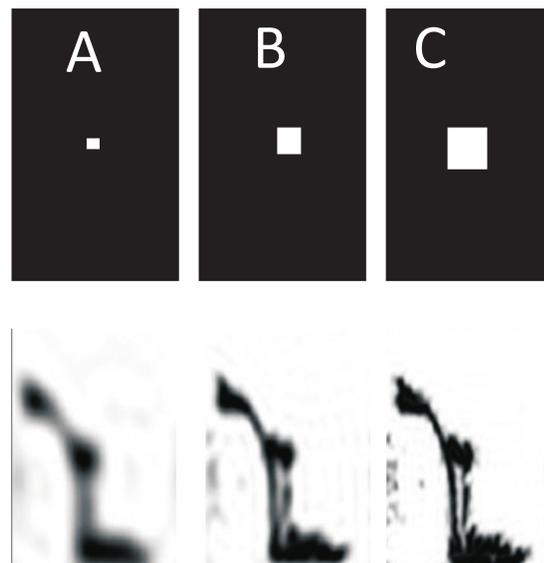
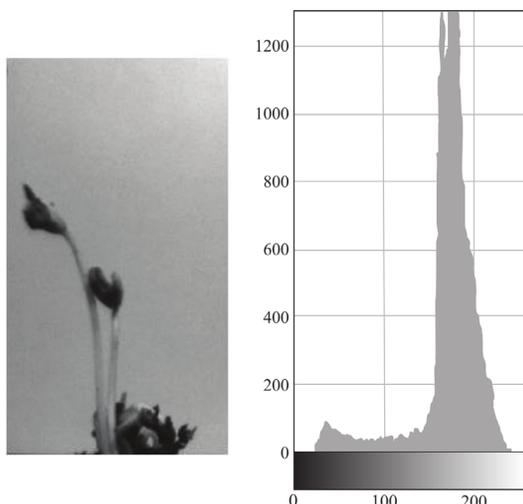
Fig. 9. Imagen de entrada después de un proceso de ecualización y su histograma.



filtros con máscaras pasa bajos se pudo obtener como resultado un valor del radio L que permite contener las componente de baja frecuencia, propias de la textura de la planta bajo estudio. La fig. 10 contiene los resultados para diferentes valores de L .

Fig. 10. Resultado obtenido al implementar el banco de filtros con máscaras pasa bajos para diferentes valores de $L=1$ (imagen A), $L=10$ (imagen B) y $L= 25$ (imagen C).

Fig.8. Imagen de entrada y su histograma.



El resultado obtenido que se observa en la fig. 10 permite evidenciar que los pixeles asociados a la región de la planta contiene información importante en la banda de bajas frecuencia. Esta información indica que la región posee una textura suave.

Al utilizar el banco de filtros con máscaras pasa altos se atenúan las bajas frecuencias del espectro de la imagen de prueba. Este proceso permite ver las altas frecuencias asociadas al borde que concentran los pixeles que conforman los segmentos que pertenecen a la planta. La fig. 11 permite observar el resultado obtenido con la aplicación de máscaras pasa altos.

El resultado que se observa en la fig. 11 es el complemento de la información obtenida en la fig. 10. Aunque la información de los pixeles de la planta presenta un gran contenido de bajas frecuencias, es necesario el uso de un filtro pasa altas para eliminar las componentes de muy baja frecuencia y realzar los bordes de la imagen.

Al obtener los valores de configuración de las máscaras pasa bajos y pasa altos es posible imple-

Fig. 11. Resultado obtenido al implementar el banco de filtros con máscaras pasa altos para diferentes valores de $L=1$ (imagen A), $L=2$ (imagen B) y $L=4$ (imagen C).

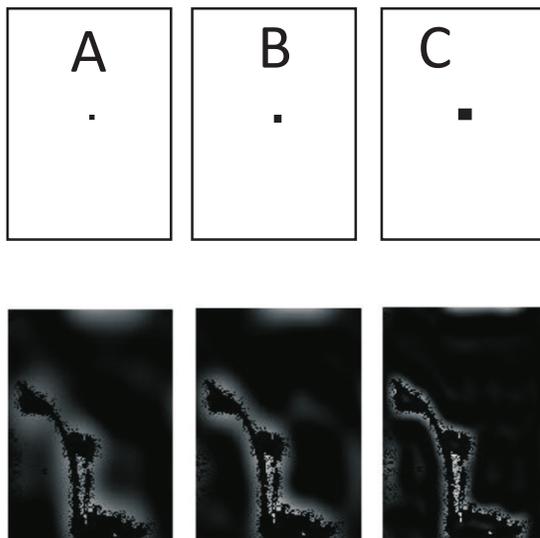
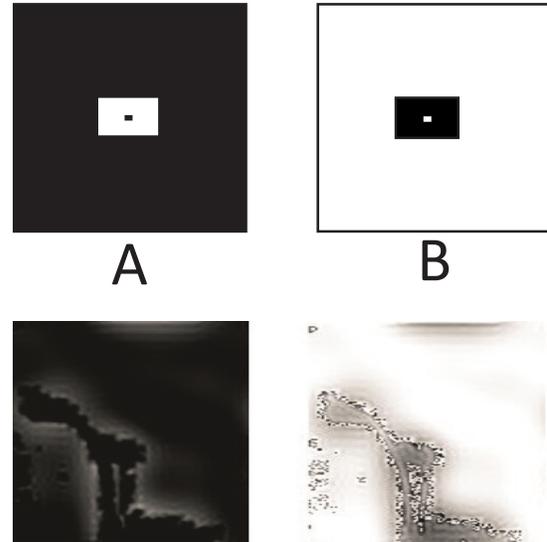


Fig.12. Resultado obtenido al implementar una máscara pasa banda (imagen A) y máscara rechaza banda (imagen B).



mentar una máscara pasa banda y rechaza banda. El resultado contenido en la fig. 12 permite apreciar los beneficios de los filtros pasa banda y rechaza banda. Estos beneficios permiten contener los rangos de frecuencia asociados a la textura de una planta en crecimiento. Estas máscaras constituyen la base para poder implementar algoritmos de binarización y segmentado para cuantificar el crecimiento de una planta en un cultivo controlado.

Al tomar el resultado obtenido con la máscara rechaza banda se obtiene un imagen que al ser tratada por medio de un operado inversor se obtiene un nuevo resultado como el que está contenido en la fig. 13.

El histograma obtenido en la fig. 13 posee en su extremo derecho la cantidad de pixeles de mayor intensidad. Estos pixeles pertenecen a la región correspondiente a la planta bajo estudio.

Al realizar una prueba con una secuencia de crecimiento, se puede evidenciar que en diferentes etapas es posible resaltar la textura de la planta a través de los filtros implementados en el dominio de la frecuencia. El resultado contenido en la figura 14 ilustra el funcionamiento del filtro en

Fig.13. Resultado obtenido por medio del uso de la máscara rechaza banda y posteriormente tratada por el operador inverso.

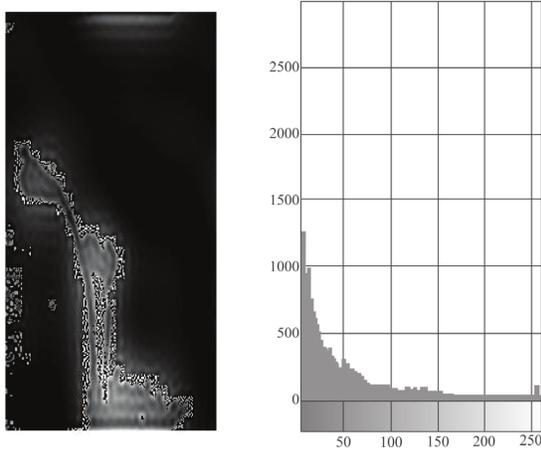
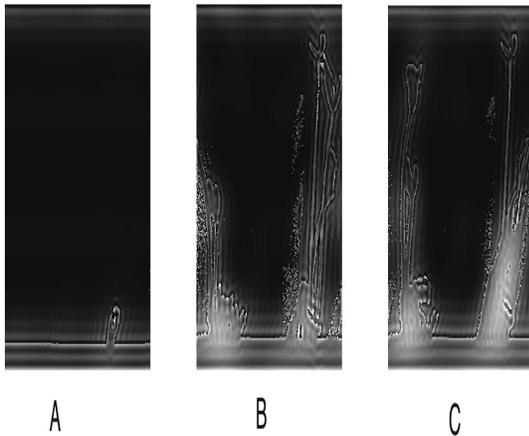


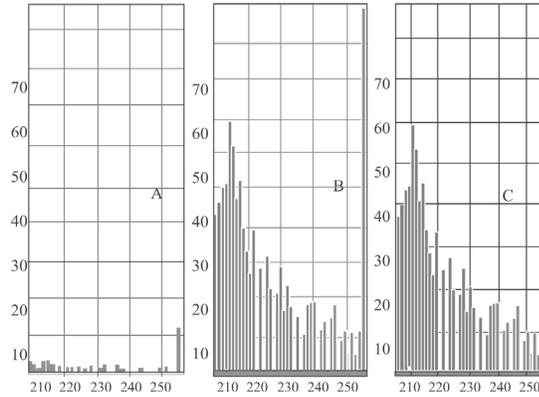
Fig. 14. Resultado obtenido al aplicar el filtro pasa banda en una secuencia de crecimiento.



el dominio de la frecuencia en diferentes etapas de crecimiento.

Cómo método de cuantificación del crecimiento de las plantas bajo estudios, se propone el uso del histograma de las imágenes obtenidas en el proceso de filtrado. Teniendo en cuenta que los pixeles de mayor valor pertenecen a la textura de la planta (210 - 255), se puede verificar en la fig. 15 como se incrementa la población de pixeles asociados a la textura de la planta. Esto constituye un posible indicador de crecimiento.

Fig.15. Histograma calculado a partir de las imágenes obtenidas del proceso de filtrado en el dominio de la frecuencia en cada etapa del crecimiento.



CONCLUSIONES

Los bancos de filtros en el dominio de la frecuencia son una herramienta que permiten obtener el rango de componentes espectrales asociadas a la textura de interés en una imagen digital. Los bancos de filtros pasa bajas y pasa altas permiten obtener los valores de L para establecer los rangos de frecuencia asociadas a las componentes espectrales de la textura de una planta en un cultivo bajo condiciones controladas de luz.

La estrategia basada en bancos de filtros implementada en este trabajo ofrece facilidades en el momento de concentrar la banda de frecuencias asociadas a la textura de una planta. Al poder contar con las frecuencias de corte, es posible tener un criterio para el diseño de máscaras pasa-banda y rechaza-banda. Estas máscaras permiten facilitar el proceso de segmentación de una imagen digital orientada al análisis y evaluación del crecimiento de una plantas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado bajo el apoyo del Semillero de Investigación en Procesamiento Digital de Imágenes, como parte de las actividades del grupo de Investigación en Materiales, Electrónica y Modelamiento (MEM) de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

REFERENCIAS

- 1] González, Wood. Digital Image Processing. Prentice Hall 2007. 976: pp. 154-1156.
- 2] Pajares, G. Computer Vision. Alfa Omega, 2008. 768: p. 533.
- 3] Hong, P.S.; Kaplan, L.M.; Smith, M.J.T.; , “Hyperspectral image segmentation using filter banks for texture augmentation” Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data, 2003 IEEE Workshop on, pp. 254- 258, 27-28 Oct. 2003.
- 4] Yousun Kang; Kidono, K.; Naito, T.; Ninomiya, Y.; “Multiband image segmentation and object recognition using texture filter banks,” Pattern Recognition, 2008. ICPR 2008. 19th International Conference on, vol., no., pp. 1-4, 8-11 Dec. 2008.
- 5] Vo, A.P.N.; Oraintara, S.; Nguyen, T.T.; “Using Phase and Magnitude Information of the Complex Directional Filter Bank for Texture Image Retrieval,” Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on , vol.4, no., pp. IV-61-IV-64, Sept. 16 2007-Oct. 19 2007.
- 6] Vo, A.P.N.; Nguyen, T.T.; Oraintara, S.; “Texture image retrieval using complex directional filter bank,” Circuits and Systems, 2006. ISCAS 2006. Proceedings. 2006 IEEE International Symposium, pp. 4 pp. 5498, 0-0 0.
- 7] Zhenyu He; Xinge You; Yuan Yan Tang; Wang, P.; Yun Xue; , “Texture Image Retrieval Using Novel Non-separable Filter Banks Based on Centrally Symmetric Matrices,” Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on , vol.4, pp. 161-164, 0-0 0.
- 8] G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529–551, April 1955.
- 9] Gang Pan; Feng-min Li; Guo-jun Sun, “Digital camera based measurement of crop cover for wheat yield prediction,” Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International, pp. 797,800, 23-28 July 2007.
- 10] Krinker, M.; Goykadosh, A., “TDR-inspection of vast tracts of forests or plants. Tract of plants as an environmental hazard detector,” Systems, Applications and Technology Conference, 2009. LISAT '09. IEEE Long Island, pp. 1,8, 1-1 May 2009.
- 11] Singh, K.; Gupta, I.; Gupta, S., “Classification of bamboo plant based on digital image processing by Central moment,” *Image Information Processing (ICIIP), 2011 International Conference on*, vol., no., pp. 1,5, 3-5 Nov. 2011.
- 12] Yugan Chen; Xuecheng Zhou, “Plant root image processing and analysis based on 2D scanner,” *Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), 2010 IEEE Fifth International Conference on*, vol., no., pp. 1216,1220, 23-26 Sept. 2010.
- 13] Montenegro D, González J, Análisis de Texturas a Través del Procesamiento Digital de Imágenes. Ediciones USTA, Bogotá Colombia 2013. 76: p. 42-48.