

Investigación

Estudio de reducción del ruido en imágenes SAR para el análisis de inundaciones

Study of noise reduction in SAR Images for the Analysis of Floods

Recibido: 2 de febrero de 2015 • Aceptado: 20 de marzo de 2015

Para citar este artículo: J. Parra, J. Hernández y M. De la Rosa, «Estudio de reducción del ruido en Imágenes SAR para el Análisis de Inundaciones», *Ingenium*, vol. 16, n.º 32, pp. 9-18, junio, 2015.



Jaime Alberto Parra Plazas*
Jose Tiberio Hernández**
Mario Fernando De la Rosa***

Resumen

La recopilación de información a través de la teledetección inició desde principios del siglo XX, y ha permitido su uso para la toma de decisiones en diversos ámbitos del manejo de desastres. La integración de información de imágenes satelitales e información real de las estaciones de hidrología permite conocer el comportamiento de la inundación en un lapso de tiempo. La reducción del ruido originada por el tipo cobertura del suelo afecta la imagen por el eco de la variación del terreno afectando los procesos de fusión espacial y temporal de imágenes. Siendo una dificultad que todavía está en estudio a pesar que es una dificultad bastante antigua de las imágenes satelitales en general. Se tienen diversos tipos de filtros basados en frecuencia o estadísticos que ayudan a su reducción, pero es necesario estudiar su comportamiento para aplicarlo en imágenes SAR (Radar de apertura sintética). Como finalidad está en mejorar la precisión de los cálculos de las inundaciones en aspectos de determinar las áreas inundadas y confrontar en un futuro la información con los datos de las estaciones de hidrología. El resultado experimental es evaluar el proceso de reducción del ruido usando indicadores y así obtener criterios para aplicar los filtros por parte del usuario en procesos hidrológico.

* PhD (c). Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Grupo de Investigación: Imagine. E-mail: j.parra188@uniandes.edu.co

** PhD. Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Grupo de Investigación: Imagine. E-mail: fde@uniandes.edu.co

*** PhD. Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Grupo de Investigación: Imagine. E-mail: j.hernandez@uniandes.edu.co

Palabras Claves

Desastre, fusión, imagen, sensor remoto, sensor.

Abstract

The compilation of information through remote sensing beginning from the early twentieth century and has allowed its use for decision making in various areas of disaster management. The integration of information from satellite images and real information hydrology stations can understand the behavior of flooding over a period of time. Noise reduction caused by soil type coverage affects the image by echoes the variation of soil processes affecting spatial and temporal image fusion. Being a difficulty that is still under study even though it is a fairly old difficulty satellite images in general. Various types based on statistical frequency or helping their reduction filters have, but it is necessary to study their behavior for application in SAR images (Synthetic Aperture Radar). The purpose is to improve the accuracy of the calculations of flooding in aspects of determining the flooded areas and confront in the future information with data from hydrological stations. The experimental result is to evaluate the noise reduction process using indicators and obtain the filter criteria applied by the user in hydrological processes.

Keywords

Disaster, fusion, image, remote sensing, sensor.

I. Introducción

Los sensores remotos son una fuente de información que se empezó a desarrollar desde finales del siglo XIX y su desarrollo durante el siglo XX. Su evolución ha sido amplia y su aplicación en diversas áreas de estudio, la principal está en obtener información geográfica, en los últimos años la de recopilar datos de desastres en general, ya que permite evaluar de forma eficiente y con un costo bajo el área de afectación. Los desastres naturales son una de las áreas de mayor uso y aplicación de la información capturada por los sensores remotos Jayaraman et al. [1]. Estos sensores remotos son basados en las plataformas aéreas y satelitales que permiten la captura de imágenes en diferentes instantes de tiempo del evento. Los sensores remotos se han clasificado por diferentes autores Cambell et al. [2] donde especifica que la información obtenida depende de la longitud de onda para la adquisición de la imagen.

Las imágenes recibidas por los sensores remotos se pueden clasificar según como la cobertura está distribuida, se puede tener cobertura homogéneas y heterogéneas que se puede modelar por medio de la distribución Γ . Donde la relación entre la desviación estándar σ y el promedio local μ y su resultado sí está a lo largo de una línea recta se clasifica como homogéneas Lopes et al, [3]. Para las imágenes heterogéneas no están alineadas a lo largo de la línea recta si no que están en un área con dispersión por la relación entre la desviación estándar σ y el promedio local μ Lopes et al. [4]. Con esta evaluación se puede modelar coberturas de pastos, bosques, zonas deforestadas, inun-

daciones entre otras aplicaciones. Otro aspecto está relacionado con el tipo de terreno y los efectos de la señal del sensor remoto que se manifiesta en ruido (eco). El ruido es originado por la retrodispersión (eco) del terreno y está relacionado directamente con la rugosidad del suelo Dainty, [5] y Raney, [6].

El ruido se manifiesta en la imagen SAR por puntos claros y oscuros y se llama *speckle*. El modelo de este ruido se expresa por la intensidad observada de la señal por la escena, Touzi [7] y Bustos et al., [8]. Y se expresa como:

$$I(t) = S(t)u(t) \quad (1)$$

Donde: $I(t)$ = la intensidad observada del pixel localizado en t
 $S(t)$ = la reflectividad del terreno, como $S(t) = |r(t)|^2$
 $u(t)$ = intensidad desarrollada por el ruido completamente.

La retrodispersión se puede modelar bajo la distribución Buemi, [9]. Este ruido speckle se comporta de forma aleatoria en la

imagen del sensor remoto.

$$Z = X \cdot Y \quad (2)$$

Z = Imagen capturada por el sensor
 X = Retrodispersion
 Y = Ruido Speckle

Este producto es el resultado de la multiplicación de punto a punto dentro de la imagen, donde se asume la independencia de las variables aleatorias que corresponden a los píxeles de la imagen y la independencia de los campos aleatorios X e Y. La ecuación 2 se puede representar para cada pixel (i,j), en una imagen para un tamaño MxN, como:

$$Z_{i,j} = X_{i,j}Y_{i,j}, \text{ para } 0 \leq i \leq M - 1, 0 \leq j \leq N - 1 \quad (3)$$

Estas imágenes SAR tienen un formato (complejo, amplitud o intensidad), permite obtener la distribución de las variables aleatorias $Y_{i,j}$ mientras que el número de looks (promedio de imágenes tomadas en un instante de tiempo) permite determinar el valor de su parámetro estadístico. Otro aspecto la heterogeneidad de la zona de estudio corresponde a cada pixel (i,j) determinada la distribución que sea más apropiada para $X_{i,j}$ para el desarrollo del modelo.

Eliminar el ruido presente en la imagen es importante para su posterior uso y se debe recurrir a los filtros. Según sea la imagen homogénea o heterogénea. Estos filtros se clasifican en cuatro aspectos, el primero se basa en el uso de filtros estadísticos y evalúan el dominio del espacio, son, *box filter*, filtro media, filtro Lee, Filtro mejorado Lee, filtro Frost, filtro Kuan, filtro mejorado Frost, filtro Oddy, filtro promedio geométrico, Gamma Map. Bermúdez et al. [10]. Vasant et al., [11] desarrollaron un estudio comparativo de filtros

estadísticos y su evaluación con índices cuantitativos de calidad. La segunda técnica está basada en el manejo de la frecuencia y se tienen transformada de Fourier, Transformada *Wavelet*, transformada *Curvelet*, Cóbreces et al. [12]. La tercera está basada en técnicas adaptivas como el error mínimo cuadrado (MMSE), máximo a posteriori (MAP), doble ventana modificada media recortado (DW-MTM) y filtro de Kalman entre otros, Saxena & Rathore, [13]. El filtro EPOS basado en una ventana adaptiva es propuesto por Li et al., [14].

Y la cuarta técnica está orientada en la integración de diferentes filtros y son definidos como híbridos, como ejemplo filtro media moda y mediana (MMN), Quiñones, [15], Shanthi et al., [16]. Otras tendencias como el filtro propuesto por Torres et al., [17] basado en divergencias estocásticas mejora la reducción del ruido comparado con los estadísticos. Algunas tendencias recientes en estudio de filtros está orientada en los filtros stack desarrollados bajo la descomposición de umbrales y del ordenamiento, se apoyan en los filtro mediana. Buemi et al., [18].

Los filtros en general reducen el ruido *speckle* y para evaluar su desempeño y poder realizar la comparación entre ellos se ha desarrollado índices de calidad. Los índices de calidad por lo general están desarrollados sobre valores estadísticos, como algunos índices importantes están los siguientes:

Índice de correlación, IC: El índice de correlación es una medida que nos muestra numéricamente la mayor o menor preservación de los bordes de una imagen después de un proceso sobre la misma, en el que el mejor caso sería un numero de medida de correlación que tiende a la unidad. El índice de correlación se calcula de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{\delta \nabla^2 x \nabla^2 y}{\delta_{\nabla^2 x}^2 \delta_{\nabla^2 y}^2} \quad (3)$$

Donde $\nabla^2 x$ y $\nabla^2 y$ son el Laplaciano de la imágenes X e Y, respectivamente.

Señal a ruido SNR, Relación señal a ruido. Por sus siglas en inglés (*Signal to Noise Ratio*) se define como el cociente entre la media de los niveles digitales y su desviación estándar, así:

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_i \sum_j X_{ij}^2}{\sum_i \sum_j (X_{ij} - v_{ij})^2} \right) \quad (4)$$

En concreto la variación de este índice y más específicamente el aumento de su valor, proporciona una estimación sobre la eficiencia de actuación de los filtros de reducción de ruido *speckle*. Paudyal y Aschbacher, 1993 [19]. El aumento o disminución de SNR no debe ser el único medio para evaluar un filtro, ya que este valor dice muy poco sobre áreas muy heterogéneas, estructuras lineales y pequeñas.

Número equivalente de looks, ENL: Por sus siglas en inglés *Equivalent Number of Looks*, o número de Looks, se define como la relación entre la media al cuadrado y la varianza,

se estiman a partir de los datos de la imagen expresados en potencia radiométrica Laur et al., 2004 [20].

$$ENL = \frac{\bar{x}}{\sigma^2} \quad (5)$$

Desviación estándar, SD: Es una medida en la estadística de dispersión, este puede ser un índice de calidad sobre una región de una imagen determinada. Básicamente este índice nos indica que tanto cambia en su conjunto un área en la tonalidad de sus píxeles. Se expresa de la siguiente manera:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Siendo algunos de los índices más usados para la medición de reducción de ruido, pero se tienen otros los cuales están orientados a medir como se mejora los bordes, el contraste, el error, medida de calidad universal, tiempo de ejecución entre otros, siendo todavía un estudio vigente en el campo de análisis de imágenes.

II. Problema

La reducción del ruido es importante para su posterior proceso, y depende de la calidad de la imagen a tratar. Esta calidad implica que el ruido *speckle* sea lo más bajo posible o que la imagen sea de alta calidad. El presente proyecto busca usar imágenes que están a disposición de las organizaciones como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) o el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) como son las imágenes SAR, las cuales tienen la ventaja que son inherentes a los efectos del ambiente como las nubes que ocultan la información que se desea analizar de áreas inundadas. Estas imágenes debido a la señal usada de microondas, la cual rebota por las variaciones del terreno y vegetación originan el ruido *speckle* y por lo tanto el primer paso es evaluar por medio de filtros. También es objeto el de obtener una medida de calidad basada en índices base, que son los más utilizados para el estudio de la reducción del ruido *speckle*.

El ruido *speckle* es un patrón indeseado que es producido por la interferencia mutua de un conjunto de frentes de onda reflejadas de forma difusa por los elementos que componen el terreno, sobre el receptor o célula de resolución. Dainty, 2002 [5]; Raney, 1998 [6].

La varianza en la imagen o «*speckle*» es un ruido granulado que existe de modo inherente en todas las imágenes SAR, este ruido está presente en toda la imagen y es un factor dominante en toda la imagen, cuando la imágenes poseen más observaciones de una misma región «multilook» el ruido resultante disminuye. La manifestación del ruido en la imagen es en unos puntos negros y blancos con una distribución aleatoria sobre la imagen. Como ejemplo la figura 1.

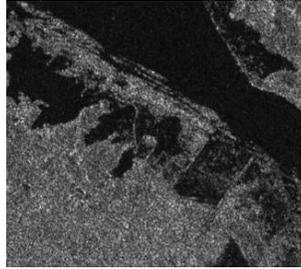


Fig. 1. Imagen satelital SAR, region del rio magdalena, Colombia
Fuente: Centro Canadiense de Percepción Remota, Ministerio de Recursos Naturales de Canadá

Este estudio está encaminado a establecer una metodología de como evaluar los filtros y conocer su comportamiento ante el ruido. La reducción del ruido se puede evaluar por medio de indicadores estadísticos o por medio de valoración de un experto entre otras estrategias.

Los índices están orientados a evaluar características de las imágenes que se deben conservar para garantizar su uso en el análisis de inundaciones, donde se busca conservar bordes y textura para el estudio. Y así mantener la información de interés de los diferentes tipos de terreno.

III. Metodología

Se fundamenta en implementar diferentes filtros estadísticos, Frost, Frost mejorado, Kuan, Lee, Media con ventana, Media sin ventana, mediana y Oddy. Esta implementación se hace en el programa de Matlab V13a, la cual tiene un módulo de análisis de imágenes. La segunda fase orientada a la implementación de índices que evalúen bordes, reducción del ruido y textura, que permita establecer el comportamiento de las imágenes según el caso los terrenos sean homogéneas o heterogéneas, para esta fase se toman los índices básicos según el estado del arte como son, Índice *Speckle*, ENL, Correlación y desviación estándar SD. El origen de las imágenes de un sensor remoto que para este estudio son SAR (Radar de Apertura Sintética). Como zona de estudio se toma una parte de la bahía de Cartagena, porque tiene cambio de textura y de variación en la homogeneidad de las imágenes de prueba. Como detalle del proceso experimental se analizara el histograma de la imagen en bruto y se compara con el resultado después de pasar algunos de los filtros pre establecidos para la prueba.

La segunda estrategia es de evaluar por medio de los índices de calidad pre establecidos una tabla de comparación que permita evaluar la reducción del ruido de la imagen original y se su resultado con cada filtro. Se ha buscado dejar la misma imagen para así poder tener una de las variables fijas y solo observar la variación de cada filtro e índices.

Como proceso inicial se elabora una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) que permite elaborar el desarrollo de la experimentación de manera automática y que puede almacenar los resultados según la configuración de filtro a usar y evalúa para cada uno los índices preestablecidos según el estado del arte.

Esta GUI, figura 2, permite evaluar los índices básicos en la imagen de entrada (original) y seleccionar el filtro, como resultado entrega la imagen tratada y permite la comparación de forma paralela, entregando también a la salida los índices que también se pueden analizar de forma paralela con los originales.

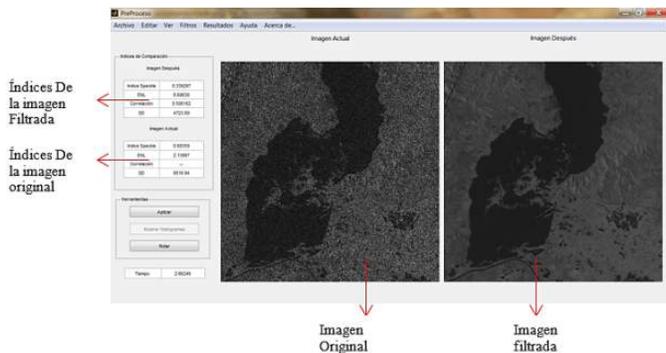


Fig. 2. Modelo GUI en Matlab para el proceso experimental de filtros e índices de calidad

X2	Frost	Frost Mejorado	Kuan	Lee	Media Ventana	Media Sin Vent.	Mediana	Oddy
Indice Speckle	0.410369	0.435807	0.401097	0.360746	0.371573	0.397002	0.414912	0.44689
ENL	5.93815	5.26516	6.21587	7.68415	7.24289	6.34475	5.80882	5.00725
Correlación	0.637897	0.750521	0.649443	0.535029	0.513895	0.637081	0.617451	0.739918
SD	4725.71	5058.15	4655.3	4187.32	4214.71	4575.65	4457.76	3.53101
Tiempo Sg	11.9943	5.37676	13.2899	0.0367512	0.0339714	0.029057	0.03285	4.0251

Tabla 1: Comparación Filtros-índices de calidad

IV. Resultados

Los filtros aplicados muestran que reducen el ruido significativamente, pero para una selección adecuada en un estudio de inundaciones y análisis temporal requiere de valores muy bajos en el ruido *speckle*. Los índices permiten una selección de filtros más adecuado y que no dependa de un experto en valorar la reducción del ruido ver tabla 1.

En esta tabla 1 se encuentra que los mejores filtros estadísticos son los que están resaltados en gris, entregando una reducción considerable de ruido, en los filtros Lee, Media ventana y Oddy. Y usando los índices que se tienen en la columna izquierda y el tiempo de ejecución, este último permite estimar cuanto tiempo se tarda en realizar el análisis de cada filtro. Como objeto del tiempo se está realizando la experimentación con imanes pequeñas pero permite conocer el desempeño del filtro ante la complejidad de la imagen de prueba. Y dando finalmente una idea del tiempo para imagen de mayor tamaño y su inversión en tiempo de cálculo.

Por lo anterior es necesario preparar las imágenes con un pre filtrado que ayude de reducir el ruido *speckle*. El resultado obtenido del análisis se muestran en la tabla 1, se observa el comportamiento de los diferentes filtros y sus índices los cuales se resaltan en

gris. Esto evidencia que no es posible tener un único filtro que se comporte bien con todos los índices. Esta situación exige que es necesario seguir investigando sobre la búsqueda de un filtro y un índice más universal.

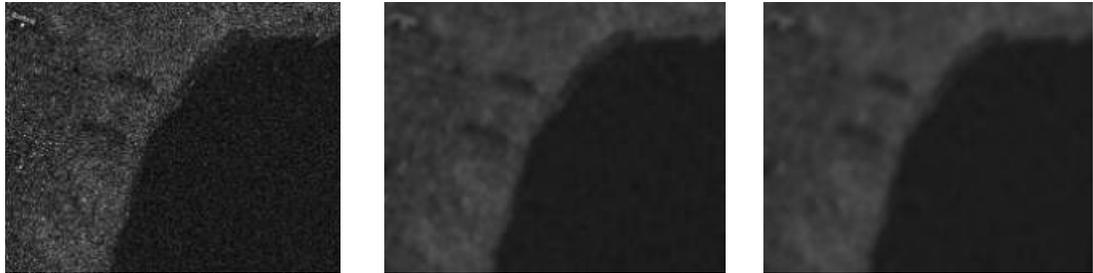


Fig. 3. resultado filtro Lee, Imagen con una pasada y las siguientes con dos y tres pasadas de un filtro lee con dos pasadas
Fuente: Banco Nacional de Imágenes, IGAC

El resultado de las imágenes tratadas se puede ver en la figura 3 con un filtro Lee y se observa que este degrada la imagen con solo dos pasadas del mismo filtro. Este proceso se puede repetir de forma indistinta y cuantas veces sea necesario.

El histograma de la anterior operación permite ver los efectos del filtro Lee sobre la imagen de prueba ver figura 4.

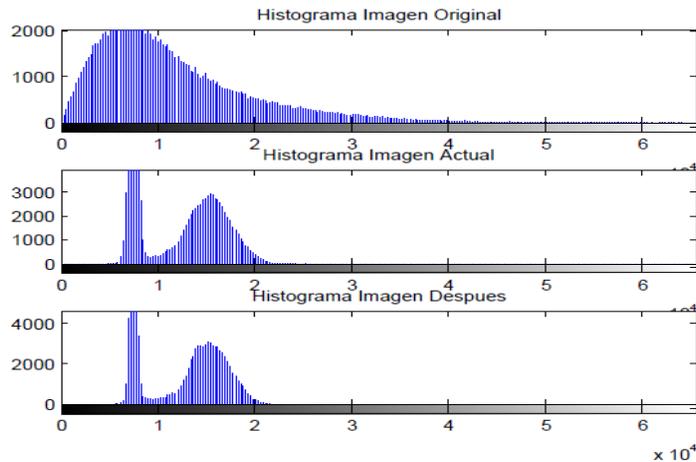


Fig. 4. histograma filtro lee, Imagen con una pasada y las siguientes con dos y tres pasadas de un filtro frost mejorado con dos pasadas

El histograma muestra la reducción de los valores más claros, lo que significa que reduce los píxeles relacionados con el ruido *speckle* mostrando la efectividad del filtro en una sola pasada, en la tercera fila del histograma se observa el efecto del filtro donde se aprecia que reduce demasiado los valores de los píxeles tanto negros y claros, perdiendo así nitidez la imagen y por lo tanto degradando los bordes que es lo que buscamos resaltar.

El filtro Frost mejorado también entrega un resultado muy bueno, en la reducción del ruido y de resaltar los bordes de las diferentes zonas, como son el agua y la tierra, permitiendo diferenciar dejando lista la imagen para el análisis de fusión de datos con otras imágenes siendo un proceso posterior al presente trabajo. Ver figura 5

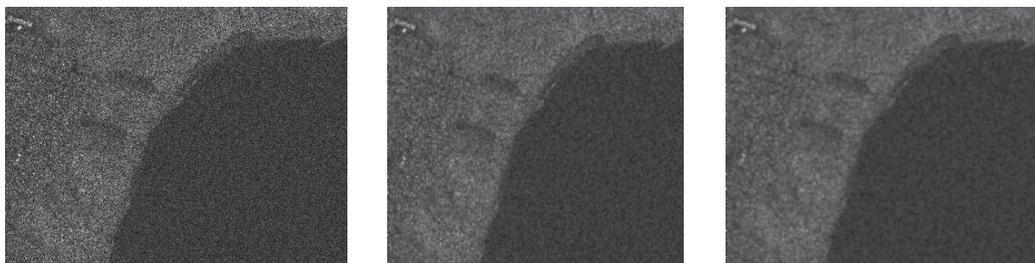


Fig. 5. Resultado filtro fros mejorado, Imagen con una pasada y las siguientes con dos y tres pasadas de un filtro lee con dos pasadas

Fuente: Banco Nacional de Imágenes, IGAC

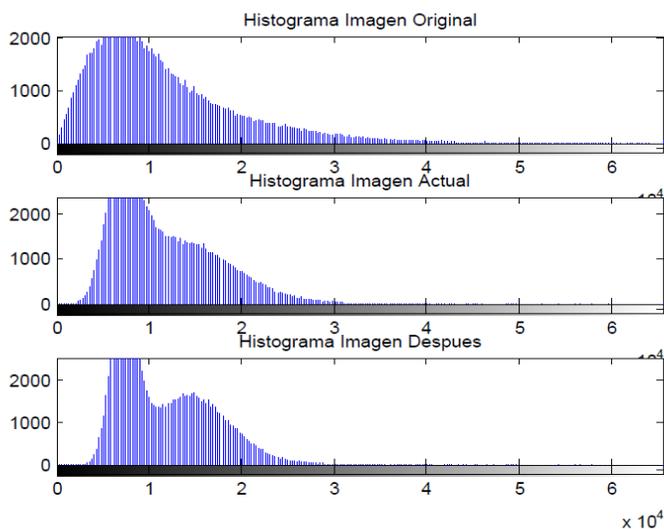


Fig. 6. histograma filtro frost mejorado, imagen con una pasada y las siguientes con dos y tres pasadas de un filtro fros mejorado con dos pasadas

El histograma de la figura 6 evidencia que la reducción en los valores más claros de la imagen son retirados de la imagen y confirmo lo apreciado en la figura 5, sobre como resalta los bordes. Este filtro Frost entrega buenos resultados con dos pasadas el filtro, siendo un potencial para su aplicación.

V. Conclusiones

La experimentación preliminar de los filtros evidencia que es necesario establecer para el desarrollo final un análisis de más filtros que sean capaces de adaptarse a la variación del ruido por si aleatoriedad dentro de cada imagen, aunque e resultado es bueno para el fin de determinar áreas de inundación con precisión, es necesario repetir la experimentación e incluir otros tipos de filtros y analizar su comportamiento.

El número de pasadas de cada filtro sigue siendo una decisión del usuario o experto lo que hace que sea indispensable de un operador humano en cada caso, el proceso hacia el futuro está en evaluar la posibilidad de un sistema experto que evalué por medio de los índices de calidad que tantas veces es necesario usar el filtro en particular sin perder el nitidez y bordes en la imagen.

El desarrollo experimental de aplicaciones de filtros es un área que aún está terminada basado en que no se tiene un filtro adaptivo que pueda ser aplicado a cualquier imagen que presente ruido Speckle, como motivación de seguir explorando nuevas estrategias para aplicaciones de nuevas técnicas numéricas que permitan el desarrollo de filtros.

Este ruido también está presente en otras imágenes como las de resonancia magnética, ultrasonido o similares teniendo un campo de aplicación amplio para seguir en la investigación.

VI. Referencia

- [1] Jayaraman V, Chandrasekhar M, Rao U., «Managing the Natural Disaster from space technology inputs,» *International Astronautical Federation*, vol. 40, n° 2-8, pp. pp 291-325, 1997.
- [2] Campbell J. B. & Wyne R. H., *Introduction to Remote Sensing*, New York: The Guilford Press, 2011.
- [3] Lopes A., Nezy E., Touzi H., Laur H., «Maximim A Posteriori Speckle Filtering and First Order Texture Models in SAR Image,» *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'90)*, pp. 2409-2412, 1990.
- [4] Lopes A., Touzi R. N., «Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity,» *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, vol. 26, n° 6, pp. 992-1000, 1990.
- [5] Dainty C., *Laser Speckle y los fenómenos conexos*, Arizona: Springer; Edición: 2 En Sub., 2010.
- [6] Raney R., *Principles & Applications of imagin radar. Manual of Remote Sensing. Principles and Applications of Imaging Radar.*, Dublin, 1998.
- [7] Touzzi, R., «A Review of Speckle Filtering in the Context,» *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, vol. VOL. 40, n° NO. 11, pp. 2392-2404, 2002.
- [8] Bustos O. H., Palacio M. G., Frery A.C., «Filtros interactivos reductores de ruido Speckle en Imágenes,» *Revista de Teledetección*, vol. 17, pp. 61-70, 2002.
- [9] Buemi, M. E., *Tratamiento de imágenes de radar de apertura mediante filtro stack*, Departamento de Computación ed., F. d. C. E. y Naturales, Ed., Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2012.
- [10] Bermúdez G. D., Jarabo A. P., Nieto B. J.C., de la Mata M. D., Gil P. R., «Estudio comparativo de Algoritmos para la reducción del "Speckle" en Imágenes Sar,» *XXI Simposium Nacional de la Union Científica de Radio URSI2006*, pp. 618-621, 12-15 Sept 2006.
- [11] Vasalt P. L., Kistor R.,K., Prashant S. A., *Evaluation of Statistical Digital Image Filters*, Mumbai: Usha Mittal Institute of Technology, 2011.
- [12] Cóbrecas A. A. M., Rosa Z. M., Bueno R. V., Sáez L. J. B., «Reducción de Ruido Spckle sobre Imágenes SAR en el Dominio de la Wavelet,» *XXI Simposium Nacional de la Union Científica Internacional de Radio URSI2006*, pp. 612-615, 12-15 Septiembre 2006.
- [13] Saxena N. & Rathore N., «A review on Speckle Noise Filtering Techniques for SAR Images,» *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering (IJARCSEE)*, vol. 2, n° 2, pp. 243-247, 2013.
- [14] Li X., Sun H., Xu X., «A novel speckle filtering technique for SAR image,» *Signal Processing, 2002 6th International Conference on*, vol. 1, n° 1, pp. 788-791, 26-30 Aug 2002.
- [15] Quiñones S. & Jorge Arturo, *Clasificación automática de los estados de desarrollo del arroz a partir de imágenes de RADARSAT-2*, Bogotá: UNC, 2011, p. 110.
- [16] Shanthi I. & Valarmathi M.L., «Speckle Noise Suppression of SAR Image using Hybrid Order Statistics Filters,» *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGIES*, vol. 5, n° 2, pp. 229 - 235, 2011.
- [17] Torres L., SantÁnna S. J. S., da Costa F. C., Frery A C., «Speckle Reduction in Polarimetric SAR Imagery with Stochastic Distances and Nonlocal Means,» *Pattern Recognition*, vol. 47, pp. 141-157, 2013.
- [18] Buemi M.E., Mejail M., Jacobo J., Gambini J., «Improvement in SAR image classification using adaptative stack filters,» de *In Proceedings of the XX Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, SIBGRAPI '07*, Washington DC, 2007.
- [19] Paudyal, D.R.; Aschbacher, J., «Land cover separability studies of filtered ERS-1/SAR images in the tropics,» *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 3, n° 7, pp. 1216 - 1218, 1993.
- [20] Laur, H.; Bally, P.; Meadows, P.; Sanchez, J.; Schaettler, B.; Lopinto, E., *ERS SAR calibration. derivation of the backscattering coefficient s0 in ESA ERS SAR PRI products.*, vol. 2, Agencia Espacial Europea, 2004, pp. 12-53.