

Detección de Cambios Incoherente con imágenes SAR. Caso: Sur del Tocuyo, Venezuela

Incoherent Change Detection with SAR images. Case: South of Tocuyo, Venezuela

Gabriela Quintana; *Investigadora*, Carlos E. Reinoza, *Investigador*, Franck A. Audemard, *Investigador*, Javier Parra, *Investigador*- FUNVISIS

Resumen— Las imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR por sus siglas en inglés) proveen una fuente invaluable de información física de la superficie terrestre. A partir de la comparación de dos o más observaciones, pre y post evento, se pueden identificar cambios ocurridos producto de actividades antrópicas o naturales que pueden ser cuantificadas a través de estudios multitemporales. En el siguiente documento se evalúa la aplicabilidad del método a partir de las amplitudes de pares de escenas de imágenes de radar de ALOS PALSAR 1. Se definió como área de estudio experimental el sur de El Tocuyo, estado Lara, con el fin de evaluar evidencias de movimientos en masa donde se dispone de datos de radar sobre una temporalidad de 5 años. El procesamiento de datos satelitales de pronta respuesta permitiría identificar y cuantificar zonas afectadas post-evento. La evaluación de estas variaciones ha sido ampliamente estudiada mediante el uso de la técnica detección de cambios incoherente. Tres de las metodologías de mayor aplicación son: (1) composición multitemporal en RGB (2) índice de probabilidad de la ocurrencia del cambio y, (3) segmentación de cambios; teniendo por objetivo implementar la técnica como parte del conjunto de parámetros utilizados en el estudio de eventos geológicos de gran magnitud. Los resultados obtenidos para este set de datos fueron cónsonos a las observaciones realizadas en campañas de campos recientes, evidenciándose remoción de la cobertura vegetal y procesos erosivos en las faldas montañosas, y depositación de sedimentos en el embalse Dos Cerritos.

Palabras clave— *detección de cambios, eventos geológicos, SAR, imágenes satelitales.*

Abstract— Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery provides an invaluable source of physical information on the Earth's surface. From the comparison of two or more observations, pre and post event, changes product of anthropic or natural activities can be identified and quantified through multitemporal studies. In the following document we assesses the applicability of the method based on the amplitudes of pairs of radar images of ALOS

PALSAR 1. The southern region of El Tocuyo, Lara State, was defined as an area of experimental study in order to evaluate evidence of landslide, where radar data is available over a 5-year period. Early response satellite data processing would quickly identify and quantify post-event affected areas. The evaluations of these variations have been widely studied using the incoherent technique for the detection of changes. Three of the most methodologies are: (1) multitemporal composition of RGB (2) probability index of the occurrence of the change and, (3) segmentation of changes; to implement the technique as part of the set of parameters used in the study of geological events of great magnitude. The results obtained for this data set were consistent with the observations made in recent field campaigns, evidencing the elimination of vegetation cover and erosive processes in the mountains and deposition of sediment in the Dos Cerritos Reservoir.

Index terms—: *space geodesy, GNSS, DInSAR, deformation, seismic hazard.*

I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad, varias agencias espaciales han liberado parte de sus bancos de datos SAR (Radar de Apertura Sintética), como lo son la Agencia Espacial Europea (ESA), la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), y próximamente la Agencia Espacial Canadiense (CSA). Se cuenta con una riqueza temporal de datos de sensores activos, que permitirán a diversos centros de investigación en el área realizar estudios multitemporales, en la diversidad de aplicaciones que se obtienen de datos SAR. Sin embargo, es bien conocido que el procesamiento de dichos datos es complejo y requieren usuarios expertos, por lo que se han generado una amplia gama de algoritmos que nos permitirán evaluar su aplicación para distintos eventos.

Entre una de las aplicaciones ampliamente utilizada por la comunidad científica, está la detección de cambios incoherente. Cuando se habla de detección de cambio incoherente se hace referencia a la identificación de cambios sobre la superficie terrestre a través de la media de la retrodispersión de las imágenes (entiéndase retrodispersión como la reflexión de las ondas o partículas, que regresan al sensor, luego de interactuar con el elemento), evidenciando la energía de una escena vía el promedio de la intensidad, siendo

determinada por las propiedades estructurales y dieléctricas de la escena, permitiendo obtener cambio en suelo, vegetación, contenido de humedad, rugosidad de la superficie.

Para fines del presente documento se tomó la sugerencia realizada por [1] de trabajar con la amplitud, ya que el mismo afirma que el uso de la intensidad podría generar la identificación errónea de cambios debido al alto contraste de la retrodispersión, lo que conduce a un mayor error de detección de cambios para aquellos ocurridos en regiones de alta intensidad de la imagen que en regiones de baja intensidad (es decir, los cambios se detectan de una manera diferente en regiones oscuras y brillantes). En tal sentido, se decide trabajar con la amplitud; y la aplicación de tres métodos: composición multitemporal en RGB, determinación de índice de probabilidad de cambio, y por último segmentación de cambios.

Los métodos son complementarios entre ellos. El área seleccionada es el sur de El Tocuyo, entre las localidades de Humocaro Bajo, El Jobo, Anzoátegui y Humocaro Alto, zona afectada por constante deslizamientos. Se quiere evidenciar el aporte del método para identificación de los cambios generados por dichos eventos. Se trabajó con datos comprendidos entre los años 2007 al 2011.

II. ÁREA DE ESTUDIO

La zona seleccionada se encuentra al sur de Tocuyo entre las siguientes coordenadas y localidades:

- 1.- Lat/Lon 9°42'19,15"/69°51'37,76" El Jobo
- 2.- Lat/Lon 9°35'58,09"/69°53'45,46" Anzoátegui
- 3.- Lat/Lon 9°08'49,66"/69°59'33,45" Humocaro Alto
- 4.- Lat/Lon 9°40'53,00"/69°58'53,48" Humocaro

Encontrándose dentro de las zonas de fallas del Sistema de Fallas de Boconó (Fig. 1, 2). El área se caracteriza por concentrar un alto índice de inestabilidad geológica representativo de las condiciones bioclimáticas muy húmedas y de la vulnerabilidad de los pisos altitudinales boscosos de la montaña andina y subandina ante movimientos gravitacionales de los terrenos, como grandes deslizamientos de tierra, cárcavas de erosión torrencial concentrada, deslaves y flujos torrenciales generadores de acarreo detríticos voluminosos, que impactan negativamente en la estabilidad de las laderas y de las planicies aluviales bajo los efectos de precipitaciones atmosféricas de gran intensidad y en ocasión de crecidas destructoras [2]. Estas condiciones de estabilidad difíciles conllevan a serios problemas de degradación del capital de recursos de tierras y aguas de importancia regional, como resultado de una utilización a menudo no prevista de los mismos, en particular en los suelos de las laderas de mayor declive desprovistas tempranamente de su cubierta vegetal a la acción de deslaves y flujos torrenciales

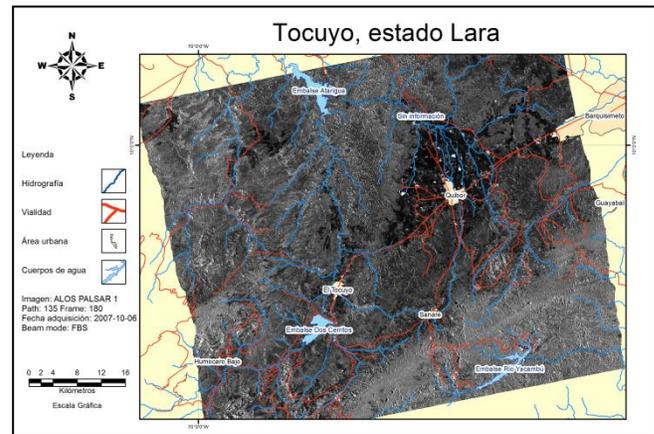


Fig. 1. Sur del Tocuyo, estado Lara.

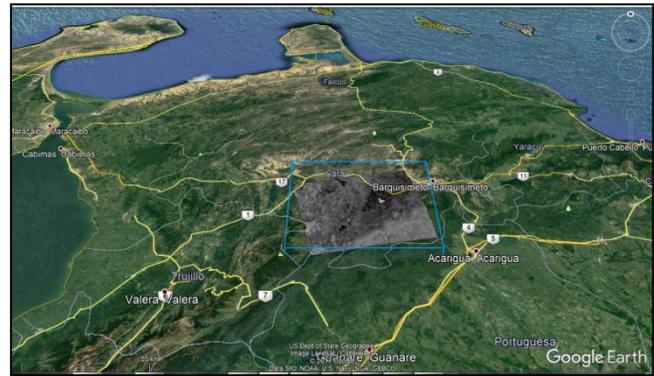


Fig. 2 Vista del área, imagen tomada de Google Earth Pro.

III. BASE TEÓRICA

La detección de cambios incoherente busca identificar los cambios a través de la media de la energía retrodispersada de la escena [3]. Una estimación de la potencia media de retrodispersión σ_f^2 se puede obtener de un solo píxel calculando la intensidad de píxel $I = |f|^2$. Así mismo, en una región homogénea, donde las propiedades y los mecanismos de dispersión subyacentes son uniformes, la media de retrodispersión que describe la escena en la imagen será constante. El ruido multiplicativo que se manifiesta en cada píxel de la imagen, sin embargo, variará de píxel a píxel debido a las contribuciones coherentes de dispersión de interferencia con cada resolución. Cada píxel de imagen puede interpretarse, así como una realización particular del mismo fenómeno de dispersión aleatoria subyacente y puede promediarse para producir una mejor estimación de la retrodispersión media. Una estimación de la media de retrodispersión es dada por la ecuación (1),

$$I = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_k \quad (1)$$

Donde $I_k = |f_k|^2$; N= número de muestra.

Para el cálculo de la media de la retrodispersión en N número de muestras, entre cada escena, viene dada por las siguientes funciones de densidades (2) (3),

$$P(I_f | \sigma_f^2) = \frac{1}{T(N)} \left(\frac{N}{\sigma_f^2}\right)^N I_f^{N-1} \exp\left(-\frac{NI_f}{\sigma_f^2}\right) \quad (2)$$

$$P(I_g | \sigma_g^2) = \frac{1}{T(N)} \left(\frac{N}{\sigma_g^2}\right)^N I_g^{N-1} \exp\left(-\frac{NI_g}{\sigma_g^2}\right) \quad (3)$$

Donde I_f y I_g representan la media de la retrodispersión de intensidad por píxel de la primera y segunda escena respectivamente; σ_f^2 y σ_g^2 representa la media de la retrodispersión por escena. Un enfoque alternativo para formar una estadística de cambio es considerar el logaritmo de la intensidad del registro como estimador, ya que tiene una varianza independiente del valor absoluto de la retrodispersión media. La diferencia del logaritmo de la intensidad (4):

$$D_L = \log(I_f) - \log(I_g) = \log\left(\frac{I_f}{I_g}\right) \quad (4)$$

Donde I_f y I_g : son los promedios de intensidades de la primera y segunda escena respectivamente. O alternativamente el resultado estadístico para la proporción de cambio con la ecuación (5):

$$\hat{R} = \exp(D_L) = \frac{I_f}{I_g} \quad (5)$$

La ecuación de proporción de cambios tiene una función de densidad dada por [6]:

$$p(\hat{R}|R) = \frac{(2N-1)! R^n \hat{R}^{n-1}}{((N-1)!)^2 (R + \hat{R})^{2N}} \quad (6)$$

Donde $R = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_g^2}$. Y a su vez, los valores de σ_f^2 y σ_g^2 = representan la media de la retrodispersión de cada escena respectivamente, N = número de muestras. La media y la varianza de \hat{R} son dada por las ecuaciones (7) (8),

$$E\{\hat{R}\} = \frac{N}{N-1} R \quad (7)$$

$$Var\{\hat{R}\} = \left(\frac{N(2N-1)R}{(N-1)^2(N-2)}\right)^2 \quad (8)$$

Donde \hat{R} = representa la proporción de cambio, E = representa la media, Var = varianza, N = número de muestras. Y son independiente sólo sobre la proporción de retrodispersión relativa $R = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_g^2}$ y el número de muestras independientes N . La ecuación de la proporción \hat{R} toman valores en el rango de $(0, \infty)$ y en la práctica se requieren dos umbrales para identificar cambios en la escena causando en ambos una reducción o un incremento en la media del poder de la retrodispersión. Un detector propuesto fue el de Touzi (tomado de [3]) basado en la proporción siguiente:

$$\hat{r} \begin{cases} \hat{R}, & \text{si } \hat{R} \leq 1 \\ \hat{R}^{-1}, & \text{si } \hat{R} > 1 \end{cases}$$

Donde toma valores entre 0 y 1 y un sencillo umbral debería ser aplicado para generar detecciones de cambios. La probabilidad de la función de densidad es dada por (9):

$$p(\hat{r}|R) = \frac{r(2N)}{r(N)^2} \left(\frac{R^N}{(\hat{r} + R)^{2N}} + \frac{R^{-N}}{(\hat{r} + R^{-1})^{2N}} \right) \hat{r}^{N-1} \quad (9)$$

IV. METODOLOGÍA

El proceso metodológico aplicado para la detección de cambios en imágenes ALOS PALSAR 1 comenzó con la búsqueda y descarga de las imágenes SAR, realizada a través de la plataforma Alaska Satellite Facility ASF Vertex. Se descargaron un total de 17 imágenes entre el período de 2007 al 2011, modo FBS y FBD (Fine Beam Single and Fine Beam Dual) nivel 1,5, con un tamaño de píxel de 12,5 m, y con una cobertura de 70 km. El nivel 1,5 viene con procesamiento previo, multilook y proyección cartográfica. Sobre esta base se procedió a trabajar con pares de imágenes, definiendo una de ella como la imagen maestra y otra como imagen esclava. Seguidamente se realizó un procesamiento básico complementario al procesamiento para este nivel.

Se comenzó con calibración radiométrica de las imágenes, se aplicó filtraje de la señal basada en el cálculo de promedios con el uso de un Kernel 3x3, y finalmente su respectiva corrección geométrica, basada en el Modelo Digital de Elevación SRTM 1 arc seg. Como paso posterior se realizó el corrección entre pares, paso esencial para la generación del análisis, generando un registro espacial entre la imagen esclava con respecto a la imagen maestra, utilizando interpolación bilineal y geolocalización entre pares. Posterior al corrección y para el cálculo de la detección de cambio incoherente, se aplicaron tres métodos: A.- Composición multitemporal en RGB: Basado en el incremento y decrecimiento de la retrodispersión a través de los coeficientes de retrodispersión, otorgándole una codificación con tres colores, para este caso: -Verde: Decrecimiento de la retrodispersión -Morado: Aumento de la retrodispersión - Negro: Áreas sin cambios. B.- Log Ratio o Índice de Probabilidad: Otra manera de lograr determinar los cambios estadísticos es considerando la estimación de proporciones, muchos autores utilizan la intensidad como medida, pero para este caso nos ajustaremos a lo sugerido por [4] quien utiliza la amplitud como parámetro para la estimación, teniendo una varianza independiente de los valores absolutos de la media de la retrodispersión. Como alternativa de aproximación para discriminar entre aquellas regiones afectadas por cambios antrópicos de aquellas que no lo son, pueden ser logradas a través de la detección de un test de hipótesis. Dentro de esta aproximación la detección de cambio es determinada si el par de píxel es

$$X_k = \{f_k, g_k\}^T, k = 1 \dots N$$

En un área local son realizaciones nula (escena sin cambios) hipótesis H_0 o una alternativa (escena con cambios) hipótesis H_1 . En una vecindad local dada de N píxeles independientes una simple ecuación estadística para determinar si los píxeles son realizaciones de una hipótesis de no cambios o de una hipótesis de cambios es el índice de probabilidad definida como:

$$L = \frac{P(\underline{X}_1, \underline{X}_2, \dots, \underline{X}_n; H_0)}{P(\underline{X}_1, \underline{X}_2, \dots, \underline{X}_n; H_1)} \quad (10)$$

$$= \prod_{k=1}^N \frac{P(\underline{X}_k; H_0)}{P(\underline{X}_k; H_1)}$$

Donde \underline{X}_x es la media de la energía de retrodispersión por píxel en la escena. C.- Segmentación: Luego del cálculo del Log Ratio y en base a este estadístico se procede a definir los valores umbrales para la generación de la segmentación de cambios. Se toma la media y la desviación estándar de la banda de las proporciones teniendo la media + o - la desviación estándar, permitiendo generar un mapa binario, donde los valores cercanos o iguales a 1 reflejan cambios generados.

V. RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados arrojados del procesamiento del par de imágenes para los años 2007 y 2008, evidencian áreas con variaciones de la retrodispersión en su crecimiento y decrecimiento (asociado a un color para facilitar la interpretación), áreas en color morado reflejan un aumento de valores de la retrodispersión por encima del valor medio, como se puede notar en la Tabla I. Áreas en color verde reflejan un decrecimiento de la retrodispersión, y áreas en color negro zonas sin cambios, dichas variaciones son observables en la Fig. 3.

TABLA I
VALORES DE LA MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA RETRODISPERSIÓN DE CADA ESCENA

Número ID	Fecha de Adquisición	Media	Desviación Estándar
450180	2007-10-06	0.1099	0.1205
870180	2008-01-06	0.0775	0.1115
550180	2009-01-08	0.0805	0.1073
230180	2010-01-11	0.0775	0.1022
10180	2011-01-14	0.0874	0.1194

Para el cálculo de los valores de la media de cada escena se utilizó como dato de entrada la amplitud, los cuales fueron llevados a coeficientes de retrodispersión, conocido como Sigma Nought definido como una fracción que describe la cantidad promedio de energía retrodispersada comparada con la energía incidente, representando el promedio de reflectividad de un material de forma normalizada por unidad de área de incidencia sobre el plano terrestre horizontal.

Las áreas en colores morados y verdes son zonas de ocurrencias de cambios [1], sin embargo, dichos cambios obedecen a remoción del elemento retrodispersor, generando un aumento de la energía que regresa al sensor; para las áreas en verde, el cambio obedece a una variación del elemento retrodispersante, ya sea por cambio en su fenología, modificación en su posición o tamaño, entre otros. Las áreas en color negro reflejan, por el contrario, ningún cambio determinado en el elemento.

De igual manera, se obtuvieron las bandas de Log Ratio o Índice de Probabilidad y Segmentación de cambios. Para el índice de probabilidad los valores se fijaron en un rango entre 0 y 1, obteniendo cambios para aquellos elementos con valores muy cercanos a 1 o de 1. Teniendo para este período un valor de 0,45 de probabilidad de cambios. Para la banda de segmentación se trabajó en base a la media y desviación estándar de las escenas, categorizándolas entre 0 y 1, donde los cambios reflejados arrojaron resultados de 1.

Los resultados arrojados para los años 2008 y 2009, evidencia de igual manera áreas con variaciones en aumento y decrecimiento de la retrodispersión, ver Tabla I, zonas en color morado y en color verde respectivamente, y en color negro zonas sin cambios. La banda de Log Ratio o Índice de Probabilidad obtuvo para este período un valor de 0,44 de probabilidad de cambios. La banda de segmentación categorizó entre 0 y 1, los cambios reflejados, evidente en la Fig. 4. El área seleccionada se caracteriza por presentar zonas de valles, zonas montañosas, áreas urbanas (las ciudades de Quíbor y El Tocuyo), zonas de cultivos (Quíbor) y la presencia del Embalse Dos Cerritos (suroeste) y la Represa Atarigua (norte).

Cabe resaltar que, para cada par de escenas dentro del período en estudio, son notorias las variaciones en el estado fenológico de los cultivos presente en las inmediaciones de la ciudad de Quíbor, pudiéndose identificar los lotes cultivados de los no cultivados y la fenología de los mismos. Igual pasa con la vegetación presente en las áreas montañosas, podemos inferir aquellas áreas donde la vegetación ha variado, así como áreas con remoción de la vegetación por procesos erosivos, dejando el suelo desnudo, lo que contribuiría al aumento de la retrodispersión. En el caso de los cuerpos de agua, los cambios detectados en las diferentes bandas de probabilidad y segmentación nos indica la presencia de sedimentos en suspensión. Sin embargo, esta presencia de sedimentos no es observable en las bandas de composición multitemporal en RGB. Se podría especular que dichos sedimentos proceden de los procesos erosivos ocurridos en las laderas de las zonas montañosas (apoyado en el aumento de la retrodispersión) los cuales son transportados hasta los cuerpos de agua cercanos.

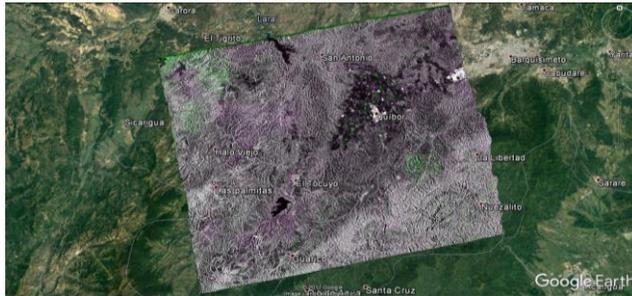
Para los años 2009 y 2010, áreas con variaciones en aumento y decrecimiento de la retrodispersión (Tabla 1). La banda de Log Ratio o Índice de Probabilidad obtuvo para este período un de valor de 0,64 de probabilidad de cambios. La banda de segmentación categorizó entre 0 y 1, los cambios reflejados (Fig. 5).

Finalmente, para los años 2010 y 2011, áreas con variaciones en aumento y decrecimiento de la retrodispersión, ver Tabla I. La banda de índice obtuvo para este período un valor de 0,34 de probabilidad de cambios. La banda de

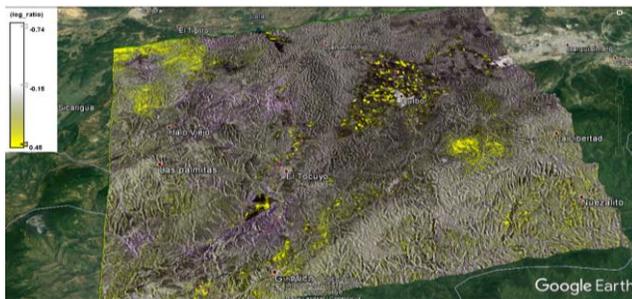
segmentación categorizó entre 0 y 1, los cambios reflejados, obsérvese la Fig. 6.

VI. CONCLUSIONES PRELIMINARES

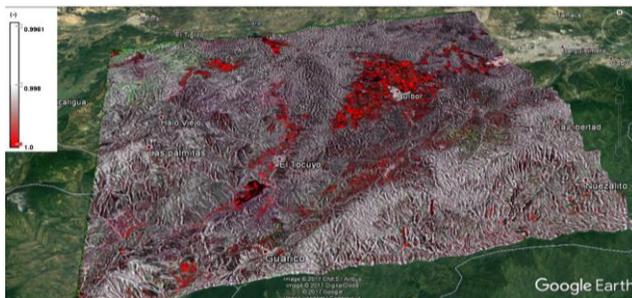
La detección de cambios incoherente basada en imágenes SAR es una herramienta útil y de rápida respuesta a la hora de evidenciar modificaciones en un área. Los resultados preliminares nos mostraron la ocurrencia de cambios en la zona de estudio en un período comprendido de 5 años. Es importante tener en cuenta las fuentes de decorrelación que generan un bajo índice de proba-



(a)



(b)

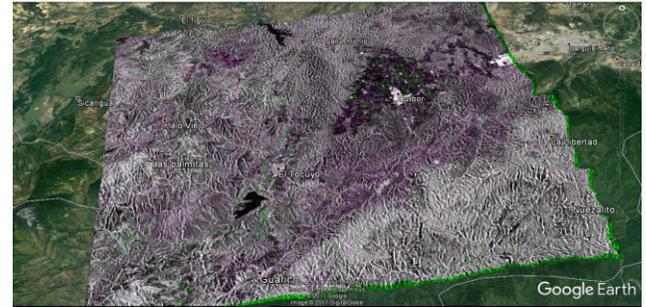


(c)

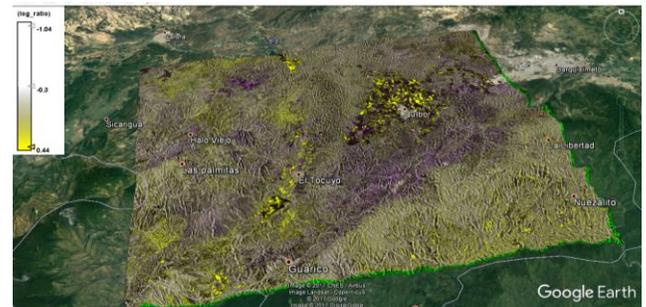
Fig. 3 Detección de cambios 2007-2008. Sur del Tocuyo, estado Lara. (a) Combinación multitemporal en RGB para el período 06-07-2007 y 06-01-2008. Véase las áreas en color morado como zonas de aumento de la retrodispersión, en verde las zonas con decrecimiento de la retrodispersión, en negro áreas sin cambios. (b) Banda Log ratio o Índice de probabilidad (áreas en color amarillo) con un 45% de probabilidad de ocurrencia de cambios. (c) Banda de Segmentación (áreas en color rojo) zonas con ocurrencia de cambios.

bilidad o falsos cambios de las imágenes, tales como factores ambientales (lluvia, vientos, etc) o factores temporales (fecha de adquisición de las escenas).

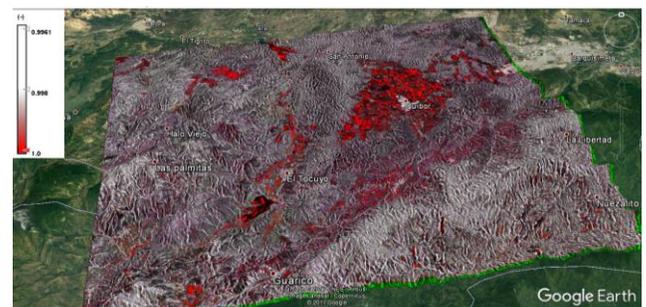
Sin embargo, la herramienta debe ser aplicada con diversos métodos para lograr una observación completa, se pudo notar que el método de combinación multitemporal en RGB no mostraron los cambios en los cuerpos de agua presente en las escenas, como muy bien lo hicieron los métodos de probabilidad y de segmentación. Los valores de probabilidad fueron en su mayoría bajos, entre el rango de 0,34 a 0,45, a excepción del período 2009-2010 con un valor de 0,64, asumiéndose mayor correlación para este par de escenas



(a)

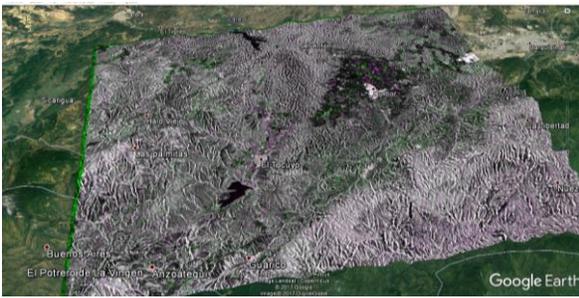


(b)

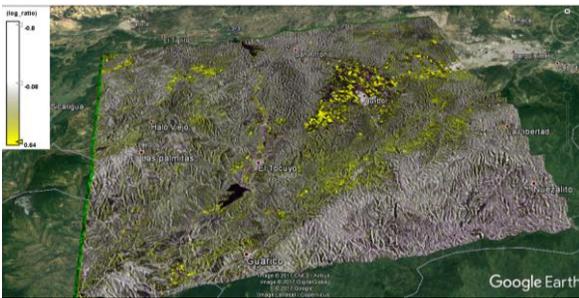


(c)

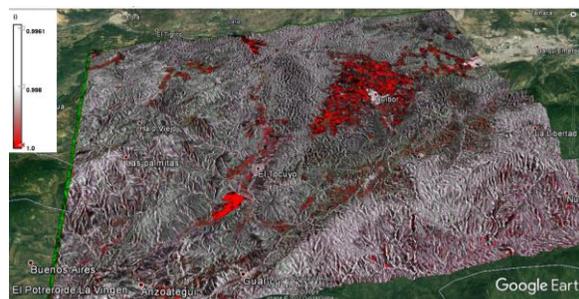
Fig. 4 Detección de cambios 2008-2009. Sur del Tocuyo, estado Lara. (a) Combinación multitemporal en RGB para el período 06-01-2008 y 08-01-2009. Véase las áreas en color morado como zonas de aumento de la retrodispersión, en verde las zonas con decrecimiento de la retrodispersión, en negro áreas sin cambios. (b) Banda Log ratio o Índice de probabilidad (áreas en color amarillo) con un 44% de probabilidad de ocurrencia de cambios. (c) Banda de Segmentación (áreas en color rojo) zonas con ocurrencia de cambios.



(a)



(b)

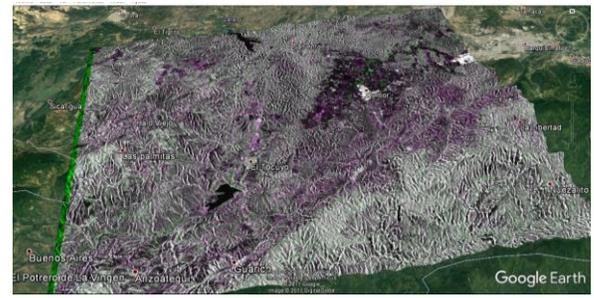


(c)

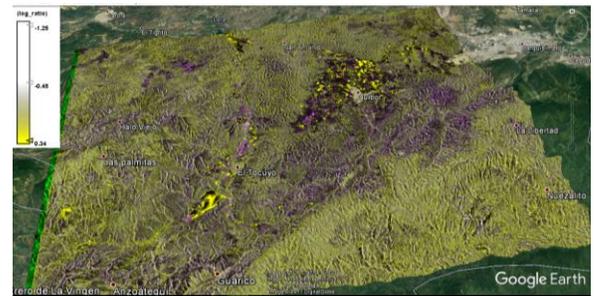
Fig. 5 Detección de cambios 2009-2010. Sur del Tocuyo, estado Lara. (a) Combinación multitemporal en RGB para el período 08-01-2009 y 11-01-2010. Véase las áreas en color morado como zonas de aumento de la retrodispersión, en verde las zonas con decrecimiento de la retrodispersión, en negro áreas sin cambios. (b) Banda Log ratio o Índice de probabilidad (áreas en color amarillo) con un 64% de probabilidad de ocurrencia de cambios. (c) Banda de Segmentación (áreas en color rojo) zonas con ocurrencia de cambios.

A partir de los polígonos generados se pueden obtener vectores geoespaciales que permitan identificar los cambios en un área de manera eficaz. Se prevé continuar aplicando la metodología con otros bancos de datos, así como su aplicación a partir de eventos naturales con una mayor afectación superficial, como método de pronta respuesta, a la hora de realizar identificación de áreas afectadas.

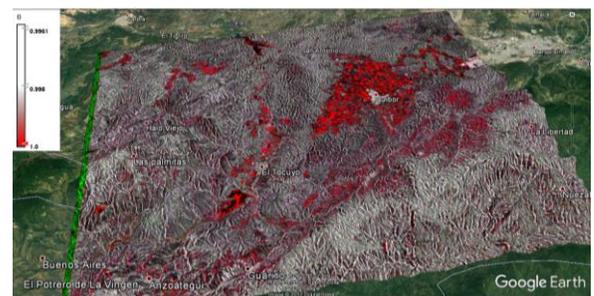
Zonas con movimientos en masas no fueron claramente observadas, sin embargo, si se pudo evidenciar procesos, presumiblemente erosivos, ya que existe una evidencia de aumento de la retrodispersión para esas zonas, existiendo una remoción de los elementos (para este caso se presume de la cobertura vegetal) dejando el suelo desnudo, y posterior depositación de sedimentos en el Embalse Dos Cerritos, que



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Detección de cambios 2010-2011. Sur del Tocuyo, estado Lara. (a) Combinación multitemporal en RGB para el período 11-01-2010 y 14-01-2011. Véase las áreas en color morado como zonas de aumento de la de la retrodispersión, en verde las zonas con decrecimiento de la retrodispersión, en negro áreas sin cambios. (b) Banda Log ratio o Índice de probabilidad (áreas en color amarillo) con un 34% de probabilidad de ocurrencia de cambios. (c) Banda de Segmentación (áreas en color rojo) zonas con ocurrencia de cambios.

se pudo notar en las bandas de probabilidad y segmentación, para un período de 5 años.

Los resultados logrados se encuentran acordes con las conclusiones obtenidas en campañas de campo realizadas en los últimos años, existen evidencias de remoción de la cobertura vegetal en las laderas de las zonas montañosas, y evidencia de procesos erosivos, dichos movimientos en masas son típicos de la zona.

Se continúa el desarrollo del análisis.

REFERENCIAS

- [1] L. Bruzzone "Multitemporal Analysis" 5th ESA Advanced Training Course on Land Remote Sensing. 2014.
- [2] A. Singer, J. Parra, M. Linares, I. Osorio, S. Parrondo "Problemática General y Evaluación de Manifestaciones de Estabilidad en las Laderas del Páramo y Lechos Aluviales de crecida del Municipio Boconó del estado Trujillo." FUNVISIS. 2016
- [3] M. Preiss, N. Stacey "Coherent Change Detection: Theoretical Description and Experimental Results". Department of Defence. Defence Science and Technology Organisation. Australia. 2006.
- [4] M. Fomelis "SAR Coregistration Approaches & Change Detection". ESA. 2015.



Gabriela Quintana nacida en Caracas, Venezuela. Obtuvo su título de Licenciada en Geografía en la UCV en 2008. Especialista en Sensores Remotos y GIS en el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) en 2009. Especialista en Sistemas de Aplicaciones Terrestres en 2013. Y actualmente cursa la Maestría en

Ciencias Geológicas –UCV.

Actualmente es parte del Dpto. de Geofísica de FUNVISIS como investigador desde 2016. Sus intereses de investigación incluyen el estudio de la deformación de la superficie con datos GNSS y DInSAR, detección de cambios coherentes e incoherentes.



Carlos E. Reinoza nació en Mérida, Venezuela en 1983. Obtuvo su título como Ingeniero Geólogo en el año 2006 en la Universidad de Los Andes, y su título de Doctor Mención: Tierra, Universo y Ambiente en la Universidad Grenoble Alpes (Francia) en 2014.

En la actualidad, trabaja como investigador del Dpto. de Geofísica de FUNVISIS desde 2006 y dicta la cátedra de Cinemática de Fallas en la Universidad Central de Venezuela (UCV) desde 2016. Sus intereses de investigaciones incluyen varios aspectos de la geodesia espacial como mediciones GNSS, instalación de estaciones permanentes, InSAR, etc., así como estudios de deformación superficial, neotectónica, geodinámica, amenaza sísmica y sismología en general.

En 2015 recibió una mención honorífica en los Premios Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI) como Mejor Trabajo Mención: Ciencias Naturales. En los PNCTI 2016, recibe el premio nacional como Grupo de Investigación Consolidado como miembro del Departamento de Geofísica de FUNVISIS.



Franck A. Audemard nació en Cumaná, Venezuela en 1959. Obtuvo su título como Ingeniero Geólogo en la UCV en 1985 y su título de Doctor en Tectónica de la Universidad de Montpellier II (Francia) en 1993.

Actualmente, trabaja como investigador del Dpto. de Ciencias de la Tierra de FUNVISIS desde 1986 y es profesor de la Escuela de Geología, Geofísica y Minas de la UCV desde 1995. Sus intereses de investigaciones incluyen sismotectónica, sismología, geología de terremotos, paleosismología, neotectónica, sismología histórica, efectos de sitio, geología marina y sísmica costa-afuera, geología del Cuaternario, Geodesia, GPS, Paleo-tsunamis, entre otros. Es editor regional de la publicación Journal of South American Earth Sciences, así como miembro de los comité editorial o científico de las siguientes publicaciones: Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, Geología Colombiana, Geología Norandina, Earth Sciences Research Journal, Geociencias Aplicadas Latinoamericanas (EAGE) y Revista Ciencia & Ingeniería Neogranadina.

El Dr. Audemard es vice-presidente de la Unión Internacional para la Investigación del Cuaternario (International Union for Quaternary Research –INQUA, 2015-2019), Presidente de la Sociedad Venezolana de Geólogos (SVG, 2008-) y miembro del Comité Ejecutivo del Comisión Sismológica para el Latino América y el Caribe (LACSC-IASPEI, 2016-2018). El Dr. Audemard ha sido premiado con varios galardones, entre ellos, la mención honorífica como Investigador de Amplia Trayectoria en el PNCTI 2010. E Igualmente, en la edición de 2015 y 2016, forma parte del equipo que gana la mención honorífica al mejor trabajo en ciencias naturales y grupo consolidado, respectivamente.



Javier Parra nació en Caracas, Venezuela. Obtuvo su título como Ingeniero Geólogo en el año 2012 en la Universidad de Los Andes, y actualmente está a la espera de su título de MSc en Ciencias Geológicas de la UCV.

En la actualidad, se desempeña como investigador en geología y geofísica en el Dpto de Ciencias de la Tierra en FUNVISIS. Ha publicado en revistas nacionales, tratando temas como microzonificación sísmica, deslizamientos y aludes torrenciales. Adicionalmente, se desempeña como geotecnista para la disminución de riesgos geológicos en el contexto rural y urbano.