

Identificación de deslizamientos de laderas aplicando técnicas de detección de cambios a imágenes Landsat en la zona costera del Estado de Guerrero, México

R.N. Ramos-Bernal^{1,2}, R. Vázquez-Jiménez^{1,2}, R. Romero-Calcerrada², C.J. Novillo², P. Arrogante-Funes², S. Sánchez Tizapa¹

¹ *Cuerpo Académico UAGro-CA-93 Riesgos Naturales y Geotecnología, UAI, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Lázaro Cárdenas s/n, CU, 39070, Chilpancingo, Guerrero, México.*

² *Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, Universidad Rey Juan Carlos. C. Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid. España.*

rnrnramos@uagro.mx, rvazquez@uagro.mx, raul.romero.calcerrada@urjc.es, carlos.novillo@urjc.es, patricia.arrogante@urjc.es, sstizapa@uagro.mx

RESUMEN: El deslizamiento de laderas es uno de los riesgos naturales cuyo poder de destrucción ha generado gran cantidad de víctimas y cuantiosos daños materiales en el planeta. Recientemente el Estado de Guerrero en México, ha sido afectado por desastres naturales como sismos y huracanes que han ocasionado inundaciones y deslizamientos. En septiembre de 2013 las intensas lluvias ocasionaron un deslizamiento en la comunidad de La Pintada, donde se registraron 70 personas desaparecidas. La investigación consiste en desarrollar un análisis que permita la generación de cartografía de deslizamientos a partir de un algoritmo de decisión aplicando técnicas a priori de detección de cambios. Para ello se usaron imágenes de satélite que cubren la zona costera del Estado de Guerrero y un inventario de deslizamientos generado por nosotros a partir de la fotografía aérea disponible en Google Earth. Los resultados obtenidos muestran que con el modelo de decisión aplicado se obtiene un acierto de 80% (validado con los polígonos identificados como deslizamientos en el inventario). Se concluye que el modelo arroja resultados aceptables para el caso particular de la zona de estudio; los cuales pueden mejorarse considerando variables adicionales en el algoritmo.

Palabras-clave: deslizamiento de laderas, detección de cambios, zona costera del Estado de Guerrero, México.

1. INTRODUCCIÓN

La inestabilidad de laderas es uno de los riesgos naturales con un gran poder de destrucción; derrumbes, deslizamientos, flujos, reblandecimiento de terrenos y movimientos complejos ocurren día con día en cualquier parte del mundo del tal forma que las víctimas y daños causados son cuantiosos (Petley, 2012).

Los factores que intervienen para que se originen este tipo de eventos son diversos; precipitación intensa, actividad sísmica, características del suelo, pendiente del terreno, ausencia de vegetación, fallas geológicas, presencia de deslizamientos previos, etc. (Malamud et al., 2004; Dahal et al., 2006). Algunos de estos fenómenos también se originan como consecuencia de actividades antrópicas, como la construcción de carreteras, sobreexplotación de agua del subsuelo; deforestación para agricultura, crecimiento de población, actividad industrial, etc. (Gorsevski et al., 2006).

En la actualidad, existen numerosos estudios que combinan técnicas de teledetección con métodos estadísticos para la predicción, modelado y generación de cartografía de susceptibilidad de deslizamientos (Poiraud, 2014); los cuales parten de contar con información de eventos antecedentes integrada en inventarios que ayudan a evaluar la capacidad predictiva de los modelos. A pesar de la eficiencia de estos métodos, en la mayoría de los casos, los resultados dependen de la calidad de los inventarios, los cuales a menudo suelen ser subjetivos (Guzzetti et al., 2012; Van Westen et al., 1999; Ardizzone et al., 2002; Van den Eeckhaut et al., 2005; Zezere et al., 2009; Krueger et al., 2012). De este modo, la construcción de inventarios es una etapa importante en este tipo de estudios y pueden mejorarse aplicando diferentes técnicas tales como fotointerpretación aérea, investigación histórica y trabajo de campo (Poiraud, 2014); lo cual

implica mayores recursos y algunas dificultades en la integración de información histórica.

Bajo tales antecedentes, el presente trabajo trata sobre el proceso de generación de cartografía de deslizamientos aplicando técnicas de teledetección en una zona de costa del Estado de Guerrero. En ese Estado ocurrió un deslizamiento de ladera el 16 de septiembre de 2013 sobre la comunidad de La Pintada (municipio de Atoyac de Álvarez) causando graves daños. Es por ello que el estudio se desarrolla en torno a esta zona y a esta fecha donde se registraron numerosos deslizamientos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (144 km²) comprende un área del límite entre los Municipios Atoyac de Álvarez y Coyuca de Benítez, ubicados en la zona costera del Estado de Guerrero, México (Figura 1). El método para delimitar la zona de estudio consistió indagar información histórica sobre fenómenos naturales ocurridos, como precipitación intensa e identificar los sitios en los que se han registrado deslizamientos a consecuencia de estos fenómenos.

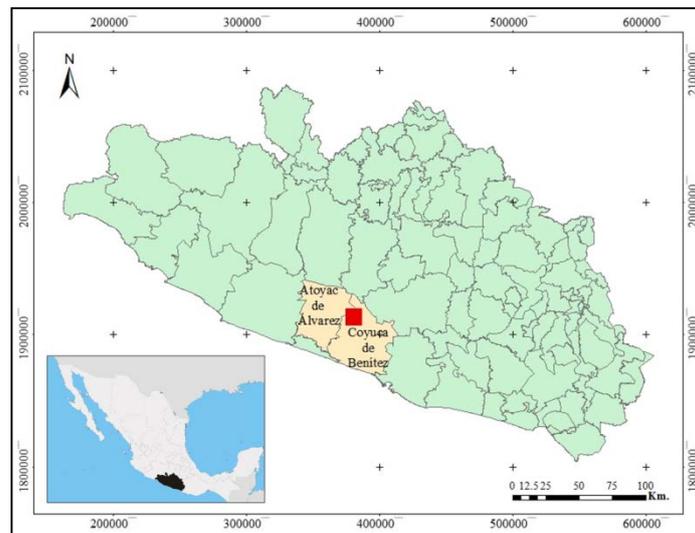


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (en rojo).

De la información obtenida destaca un episodio ocurrido en septiembre de 2013; cuando el huracán Ingrid y la tormenta Manuel ocasionaron intensas lluvias de tres días provocando graves inundaciones y deslizamientos que afectaron gran parte del Estado; un caso lamentable fue el deslizamiento ocurrido en la comunidad La Pintada, Atoyac de Álvarez donde se registraron 70 personas desaparecidas, 379 damnificados y más de 20 construcciones dañadas (CNN, México, 2013) (Figura 2).



Figura 2. Deslizamiento de tierra ocurrido en la comunidad de La Pintada, Municipio de Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. (Excélsior, 2013).

3. OBJETIVO

El objetivo del trabajo consiste en generar cartografía de deslizamientos de laderas aplicando técnicas a priori de detección de cambios de ocupación de suelo mediante un algoritmo de decisión basado en la categorización de los sitios de entrenamiento y la definición de un umbral de diferencias de valores de reflectancia entre imágenes Landsat de fechas anterior y posterior a la que ocurrieron los deslizamientos.

4. METODOLOGÍA

Para cumplir el objetivo marcado, los insumos utilizados fueron dos imágenes Landsat 8-OLI (Path-26, Row-48) de fechas 8 de agosto y 14 de diciembre de 2013; considerando la banda del pancromático por la ventaja que significa su resolución espacial de 15 metros en la detección de cambios. El análisis también considero un inventario de deslizamientos de laderas (como sitios de entrenamiento) integrado en Google Earth; así como la construcción de un algoritmo de decisión, cuyos procesos de cálculo, construcción y obtención de resultados se explicará a detalle más adelante.

Las imágenes fueron corregidas previamente; el método aplicado en la corrección atmosférica fue el de sustracción de objetos oscuros (DOS-Dark Object Subtraction) el cual minimiza de manera efectiva los efectos atmosféricos (Chávez, 1988) dando como resultado una serie de imágenes similares y comparables en su respuesta espectral; mientras que para la corrección topográfica, se ha aplicado el modelo SCS+C (Sun Canopy Sensor + Correction) el cual tiene como objetivo caracterizar mejor la irradiancia difusa y es recomendado para las zonas de bosque montañosas, tal como la zona de estudio (Soenen et al., 2005). Las ecuaciones utilizadas para los procesos de corrección atmosférica y topográfica fueron modeladas mediante el software Dinámica EGO¹.

La figura 3 muestra la zona de estudio en las fechas citadas y se puede apreciar la cantidad considerable de deslizamientos en la fecha posterior.

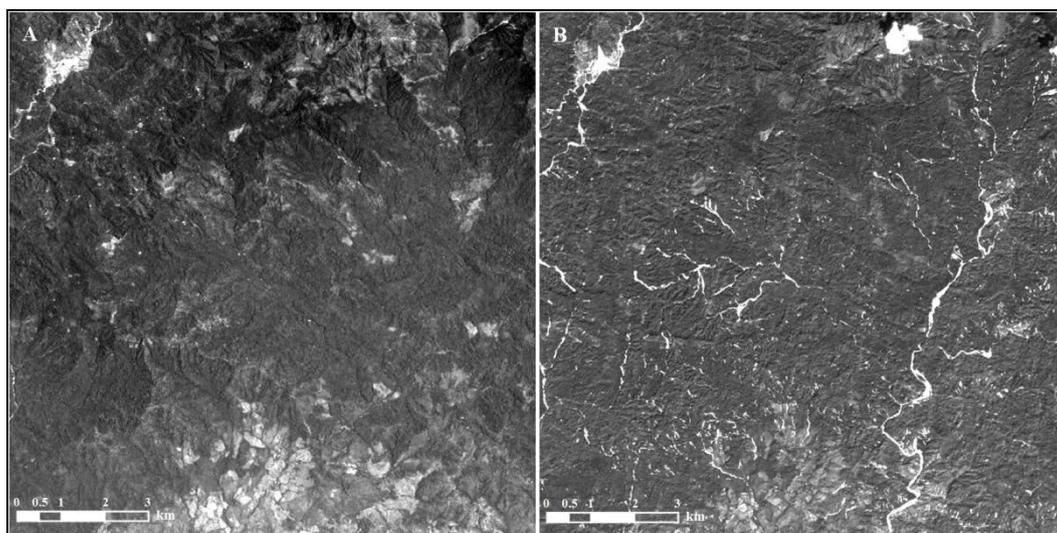


Figura 3. Zona de estudio antes y después de los eventos ocurridos en septiembre de 2013. A) Imagen del 8 de agosto de 2013, B) Imagen del 14 de diciembre de 2013. Banda 8 (L8-OLI).

4.1. Integración del inventario de polígonos de deslizamiento

Ante la imposibilidad de obtener información cercana a la fecha en que se registraron los deslizamientos proveniente de vuelos fotogramétricos, los sitios de entrenamiento se definieron mediante digitalización de polígonos generados con herramientas de Google Earth, usando las imágenes más cercanas al citado evento disponibles en línea. Se encontraron dos fechas (14 y 17 de abril de 2014) para cubrir la zona de estudio (Figura 4). Es importante mencionar que en Google Earth no se tienen imágenes con fechas más cercanas al antes y después del fenómeno, lo cual por una parte impidió que se identificaran las zonas

¹ Dinámica EGO es una sofisticada plataforma para el diseño de modelos espacialmente explícitos que incluye una serie de algoritmos espaciales complejos para el análisis y la simulación de los fenómenos del espacio-tiempo. (Dinámica Project, 2014).

donde ya existían deslizamientos y a su vez pudieran identificarse aquellos ocasionados por el mismo fenómeno.

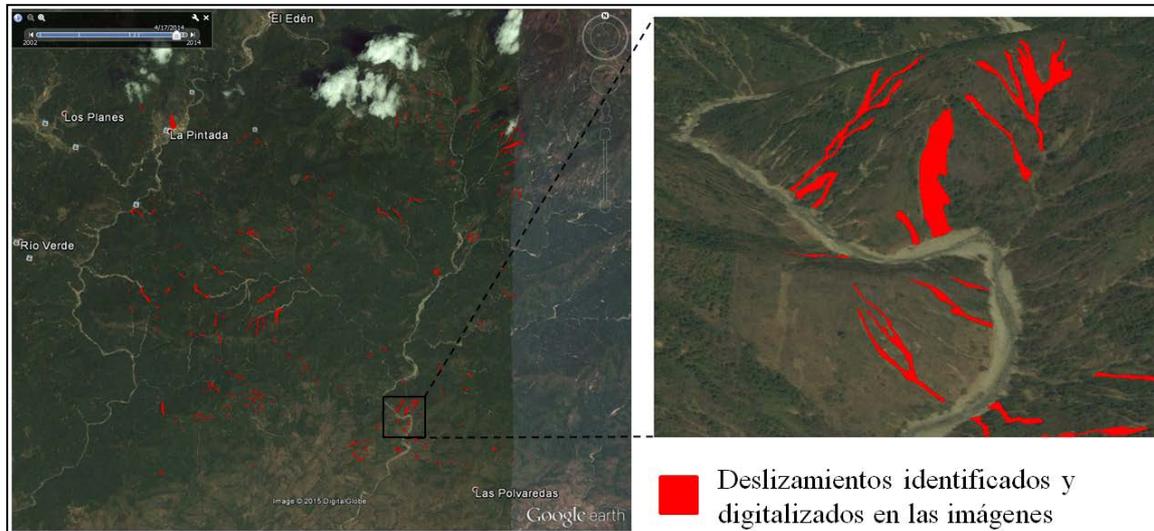


Figura 4. Digitalización de polígonos de deslizamientos en Google Earth.

En la construcción del inventario se dio prioridad a deslizamientos mayores tomando en cuenta la resolución espacial de la imagen Landsat en la banda del pancromático (15 metros); esta situación dio origen a que polígonos de deslizamiento muy pequeños fueran excluidos del inventario; también es posible que por las fechas disponibles analizadas en Google Earth diferentes a las fechas disponibles en Landsat, algunos deslizamientos fueran omitidos del inventario. La Figura 5 muestra el inventario sobre la imagen del 14 de diciembre. El inventario final está integrado en un archivo vectorial en formato shp y contiene 280 polígonos digitalizados que fueron usados como sitios de entrenamiento en el algoritmo de decisión.

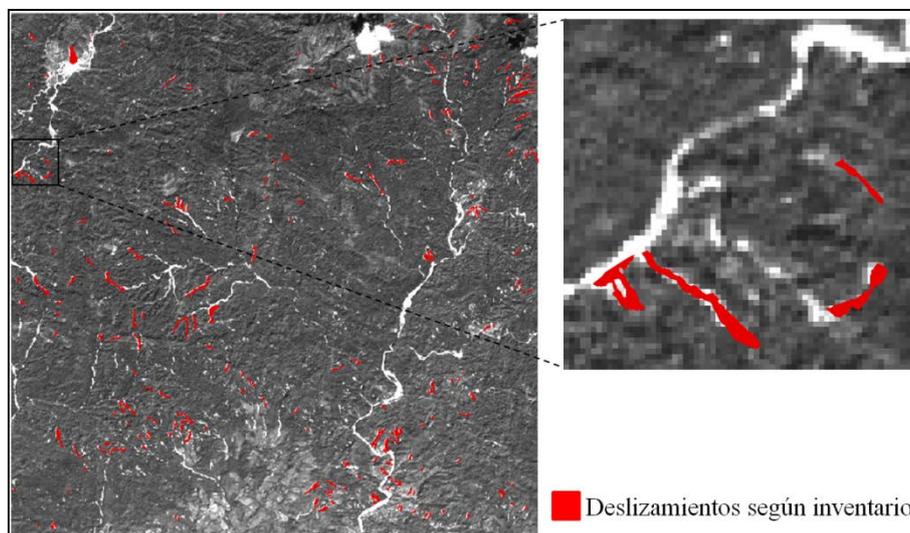


Figura 5. Inventario de deslizamientos sobre imagen del 14 de diciembre de 2013.

4.2. Detección de área problema

La zona de estudio representa un universo de 640.000 píxeles, los cuales en principio se categorizaron en función de su ubicación respecto a los polígonos del inventario, como se especifica a continuación:

- A-Píxeles totalmente dentro de polígonos de inventario (Deslizamientos).
- B-Píxeles sobre los límites de los polígonos (Posibles deslizamientos).
- C-Píxeles fuera de polígonos y límites (No-deslizamientos)

Según esta clasificación, se tienen 1.703 píxeles en la categoría A, 6.914 en la B y 631.383 en la C

(Figura 6).

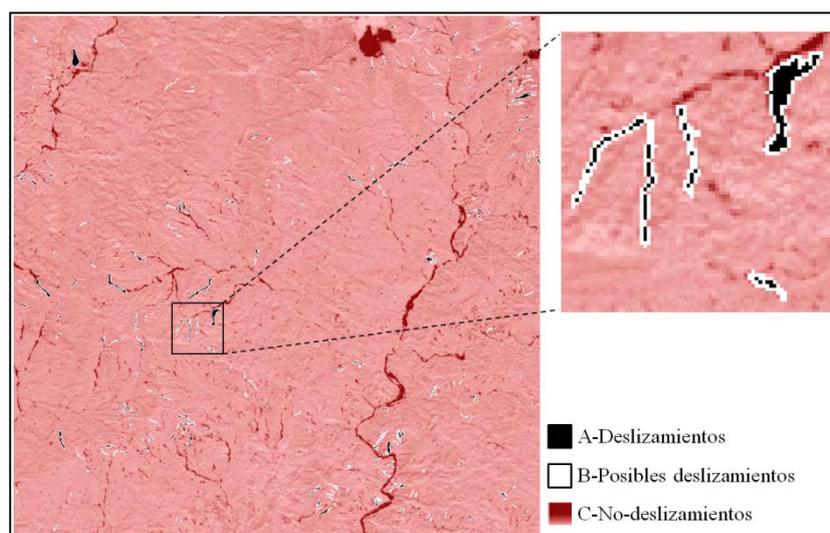


Figura 6. Categorización de píxeles en función del inventario.

Considerando que los píxeles de los sitios donde se presentaron deslizamientos presentan valores de reflectancia mayores en fecha posterior al evento, se generó un nuevo mapa que registra para cada píxel las diferencias de los valores de reflectancia entre la imagen posterior y anterior al evento; para luego realizar una exploración de los valores intentando definir un umbral a partir de su comparación con los polígonos del inventario y con ello poder identificar los deslizamientos solo a partir de las diferencias de reflectancia. El algoritmo de decisión arrojó mejores resultados para un umbral de diferencias de valores de reflectancia definido entre 0,0145 y 0,1950.

Cabe señalar que se presentaron casos de polígonos identificados como deslizamientos en el inventario que de acuerdo a las diferencias de reflectancia entre las imágenes Landsat, parecen no serlo. También se presentaron casos en los que se tienen píxeles cuyas diferencias de reflectancia indican que pueden ser deslizamientos pero los polígonos del inventario no los incluyen; esta situación se debe a que existen otros elementos tales como: caminos, nubes, poblados, barrancas, etc. que no son deslizamientos en realidad pero cumplen con el umbral establecido. Sin embargo en esta misma situación se encontrarían aquellos deslizamientos que en realidad si lo son y que por alguna de las razones explicadas con anterioridad se excluyeron u omitieron en el inventario y por tanto quedaron fuera en la etapa de definición de sitios de entrenamiento.

5. RESULTADOS

El algoritmo de decisión, identifica aquellos píxeles que cumplen o no con el umbral establecido para cada una de las categorías definidas. Los resultados indican que para la categoría A, el algoritmo identifica 1.364 píxeles como deslizamiento y 339 como No-deslizamiento por no cumplir con el umbral; esto es, un acierto del 80% respecto a los 1.703 píxeles en esta categoría según el inventario (figura 7).

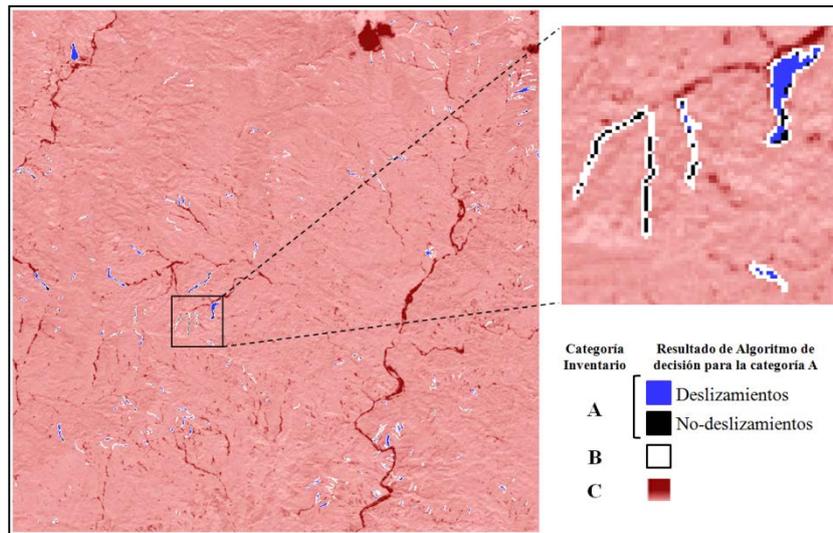


Figura 7. Resultado del Algoritmo de decisión para la categoría A.

En la figura 7 puede observarse en azul los pixeles considerados en la categoría A según inventario y que fueron así identificados por el algoritmo de decisión; así mismo puede observarse en negro los pixeles que también pertenecen a la categoría A, sin embargo el algoritmo de decisión indica que no lo son.

Respecto a la categoría B, el umbral identificó 3.097 pixeles que se intersecan con el límite de polígonos del inventario y presentan diferencia de valores de reflectancia dentro del umbral. Estos pixeles son los que tienen más probabilidades de ser deslizamientos dentro de la categoría. En este mismo análisis, se identificaron 3.817 pixeles que solamente se intersecan con los polígonos del inventario sin cumplir con el umbral (figura 8).

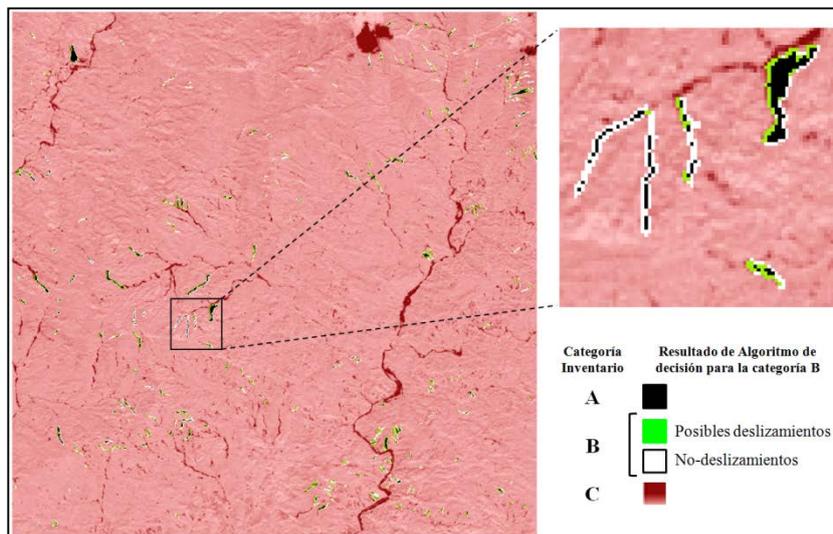


Figura 8. Resultado del Algoritmo de decisión para la categoría B.

Finalmente respecto a los pixeles que se encuentran dentro de la categoría C; el algoritmo identificó 610.683 pixeles como No-deslizamientos y 20.700 como posibles deslizamientos; esto es un acierto del 97% en los pixeles que corresponden a No-deslizamientos respecto al total considerados en esta categoría. Los pixeles que se encuentran en el 3% tienen diferencias de valores de reflectancia dentro del umbral pero no han sido identificados como deslizamientos en la etapa de integración del inventario porque como ya se explicó antes, pueden corresponder a otros elementos distintos (camino, nubes, poblados, barrancas, etc.).

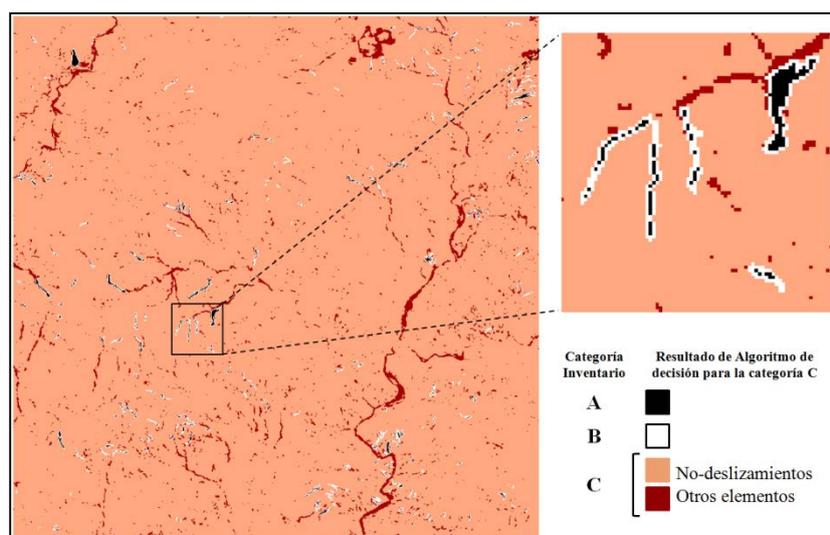


Figura 9. Resultado del Algoritmo de decisión para la categoría C.

6. CONCLUSION

De acuerdo a los resultados obtenidos se considera que el algoritmo de decisión arroja resultados aceptables para el caso particular de la zona de estudio; los cuales pueden mejorarse utilizando imágenes más cercanas a la fecha en que se presentaron los deslizamientos; o bien incorporando o mejorando las técnicas aplicadas en la integración del inventario o considerando variables adicionales en el estudio, tales como elevaciones o pendientes del terreno, cobertura de suelo, etc. El modelo construido y la determinación de umbrales adecuados pueden ser aplicados en ámbitos territoriales de similares características ambientales.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ardizzone, F., Cardinali, M., Carrara, A., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2002): "Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2, 3–14.
- Chávez, P.S. (1988): "An improved Dark-Object Subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data". *Remote Sensing of Environment* 24,459-479
- CNN México. (2013): "Tormentas en México". Nota del 18 de Septiembre de 2013. Fuente: <http://mexico.cnn.com/nacional/2013/09/18/70-personas-desaparecen-en-guerrero-por-un-alud-en-el-municipio-de-atoyac> (Consulta Octubre 2014).
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Masuda, T., Yamanaka, M. (2006): "Roadside Slope Failures in Nepal during Torrential Rainfall and their Mitigation". *Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides*, pp. 503–514.
- Dinamica Project (2014). Web Site. Fuente: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/> (Consulta Febrero 2014).
- Excelsior Especiales (2013): "Temporada de Huracanes". Nota del 19 de septiembre de 2013. Fuente: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2013/09/19/919311> (Consulta Octubre 2014).
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P., Gessler, P.E. (2006): "An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process". *Control Cybernet.* 35 (1), 121–146.
- Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K.-T. (2012): "Landslide inventory maps: new tools for an old problem". *Earth Sci. Rev.* 112, 42–66.
- Krueger, T., Page, T., Hubacek, K., Smith, L., Hiscock, K. (2012): "The role of expert opinion in environmental modelling". *Environ. Model. Softw.* 36, 4–18.
- Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2004): "Landslide inventories and their statistical properties". *Earth Surf. Process. Landforms* 29, 687–711.
- Petley, D. (2012): "Global patterns of loss of life from landslides". *Geology* 40(10):927–930.

- Poiraud, A. (2014): "Landslide susceptibility–certainty mapping by a multi-method approach: A case study in the Tertiary basin of Puy-en-Velay (Massif central, France)". *Geomorphology* 216, 208–224.
- Soenen, S.A., Peddle, D.R., Coburn, C.A. (2005): "SCS+C: A Modified Sun-Canopy-Sensor Topographic Correction in Forested Terrain". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 43, No. 9. 2148–2159.
- Van den Eeckhaut, M., Poesen, J., Vertstraeten, G., Vanacker, V., Moeyersons, J., Nyssen, J., Ven-Beek, L.P.H. (2005): "The effectiveness of hillshade maps and expert knowledge in mapping old deep-seated landslides". *Geomorphology* 67, 351–363.
- Van Westen, C.J., Seijmonsbergen, A.C., Mantovani, F. (1999): "Comparing landslide hazard maps". *Nat. Hazards* 20, 137–158.
- Zeze, J.L., Henriques, C.S., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Piedade, A., Neves, M. (2009): "Effects of landslide inventories uncertainty on landslide susceptibility modeling". En: Malet, J. P., Remaître, A., Bogaard, T. (Eds.), *Landslide Processes: From Geomorphologic Mapping to Dynamic Modelling*, pp. 81–86 (Strasbourg, 6–7 February 2009).