XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), João Pessoa-PB, 2015.

Identificación, mapeo y análisis cuantitativo de los movimientos de masa en la cuenca del río Tartagal (Salta, Argentina) con datos de sensores remotos.

Claudia Paola Cardozo, Guillermo Toyos y Valérie Baumann.

Cita:

Claudia Paola Cardozo, Guillermo Toyos y Valérie Baumann (2015). *Identificación, mapeo y análisis cuantitativo de los movimientos de masa en la cuenca del río Tartagal (Salta, Argentina) con datos de sensores remotos. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), João Pessoa-PB.*

Dirección estable: https://www.aacademica.org/paola.cardozo/12

ARK: https://n2t.net/ark:/13683/pxqH/Dpy



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.
Para ver una copia de esta licencia, visite
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es.

Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto*. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: https://www.aacademica.org*.

Identificación mapeo y análisis cuantitativo de los procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal (Salta-Argentina) con datos de sensores remotos

Claudia Paola Cardozo[1]

Guillermo Toyos[2]

Valérie Baumann[3]

[1]Comisión Nacional de Actividades Espaciales - CONAE. Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gullich. Ruta C45 Km 8. C.P. 5187. Córdoba - Argentina.
paola.cardozo.del@gmail.com.ar

[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET.
Av. Paseo Colon 751 – 1063 – Buenos Aires, Argentina.
gtoyos@conae.gov.ar

[3]Servicio Geológico Minero Argentino - SEGEMAR- Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. Avda. Roca 651. Buenos Aires - Argentina.
vbauma@mecon.gov.ar

Abstract. The mass movements are those movements of rock, earth and debris down slope under the force of gravity. The hazard analysis and risk management begins with detection and mapping, which provides a basis for understanding their spatial and temporal occurrence**.** Mass movements are common in the Sierras Subandinas (Northwest of Argentina), where for the past 50 years there have been several events that resulted in loss of human lives and material damages in the communities living nearby. This study presents the first inventory map of mass movements for Tartagal river basin (Salta, Argentina) using Remote Sensing data. Identification and mapping of mass movements of the event 2009, was obtained from a supervised classification (maximum likelihood algorithm) of 10 m multi-spectral SPOT-4 imagery, acquired immediately after the event. The affected area was about 3 km^2; the volume of material removed was about 2 km^3 and the magnitude of the event was about 6,3. Automatic classification based on the spectral signature of the pixel, with the assistance of expert knowledge, proved to be a useful method for identifying and mapping mass movements, because it allowed a quick and efficient location. The inventory map of mass movements and quantitative data will be useful for future hazard and risk assessments. They may also be used as a planning tool, and to implement mitigation strategies and risk reduction.

Palabras Claves: mapping, mass movements, remote sensing, mapeo, movimientos en masa, sensores remotos.

1. Introducción

Los procesos de remoción en masa involucran a todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o de tierra por efectos de la gravedad" (Cruden, 1991). El análisis de peligrosidad y manejo del riesgo por procesos de remoción en masa, comienza por su detección y mapeo exhaustivo, lo cual sirve de base para el entendimiento de su ocurrencia espacial y temporal (Guzetti et al., 2000; Brardioni et al., 2003; Martha et al., 2010) y provee una buena aproximación para evaluar la magnitud de un evento en un área determinada (Guzzetti et al. 1999; Guzetti et al., 2000; Fiorucci et al., 2011). Por lo general, a éstos inventarios se los describe en dos clases: (1) Inventarios de evento, que están asociados a un factor desencadenante y, (2) Inventarios históricos (geomorfológicos) o también llamados "multitemporales", que son la suma de uno o muchos eventos de movimientos en masa en una región en el tiempo (Malamud et al., 2004).

Los procesos de remoción en masa son muy comunes en las Sierras Subandinas (Noroeste de Argentina), en donde durante los últimos 50 años se han producido varios eventos que han resultado en numerosas muertes y pérdidas económicas en las comunidades que viven al pie de las mismas. Algunos de los eventos más conspicuos fueron los ocurridos en el año 1984, 2006 y 2009 (Baumann et al., 2009). Los objetivos del presente trabajo son: (1) Identificar y mapear los procesos de remoción en masa (Inventario) en la cuenca del Río Tartagal, Salta (Argentina), mediante la utilización de datos de Sensores Remotos y a partir de ello, (2) Estimar el área afectada, volúmen movilizado y magnitud del evento. Con este fin, se tomó como referencia el evento de procesos de remoción en masa del año 2009, que tuvo lugar en la cuenca alta y media del río homónimo y afectó a la ciudad y población de Tartagal.

2. Metodología de Trabajo

2.1. Área de Estudio

La ciudad de Tartagal se localiza al noreste de la provincia de Salta (Argentina), al pie de las Sierras Subandinas (Figura 1). Cuenta con una población de 79,900 habitantes (INDEC, 2010). La cuenca del río Tartagal posee una superficie de 96,68 km^2 y una cota mínima y máxima de 405 m y 1032 m respectivamente (Baumann et al., 2009). Parte de la ciudad de Tartagal se encuentra dentro de la cuenca del río homónimo. El clima de la zona de estudio es tropical serrano y tiene una precipitación media de 911mm. Los sectores altos y medios de la cuenca están cubiertos por una densa vegetación perteneciente a las "Yungas" ó Selva Tucumano Oranense. La estructura de la Sierra de Tartagal, está caracterizada por un anticlinal asimétrico de rumbo submeridiano y buzante hacia el sur. En el núcleo afloran rocas sedimentarias del Paleozoico inferior y en el flanco oriental se exponen areniscas calcáreas y pelitas medianamente competentes. La alta cuenca del rio Tartagal se encuentra sobre el flanco occidental donde aflora el Terciario Subandino compuesto por areniscas conglomerádicas, areniscas medianas y pelitas con alto grado de erodabilidad (Baumann et al., 2009).

2.2. Inventario de Procesos de remoción en masa

Para la identificación y mapeo de los procesos de remoción en masa se utilizó una imagen multiespectral SPOT-4 de fecha 15 de febrero de 2009, de 10 m de resolución espacial resultado de la fusión de una imagen pancromática (10 m) y una multiespectral (20 m). La misma cubrió el 100 % del área de estudio, totalmente libre de nubes y niebla. La adquisición tuvo lugar en el contexto de la activación de la Carta Internacional "El Espacio y Las Grandes Catástrofes", por el alud que afectó a la Ciudad de Tartagal, el 9 de febrero de 2009.

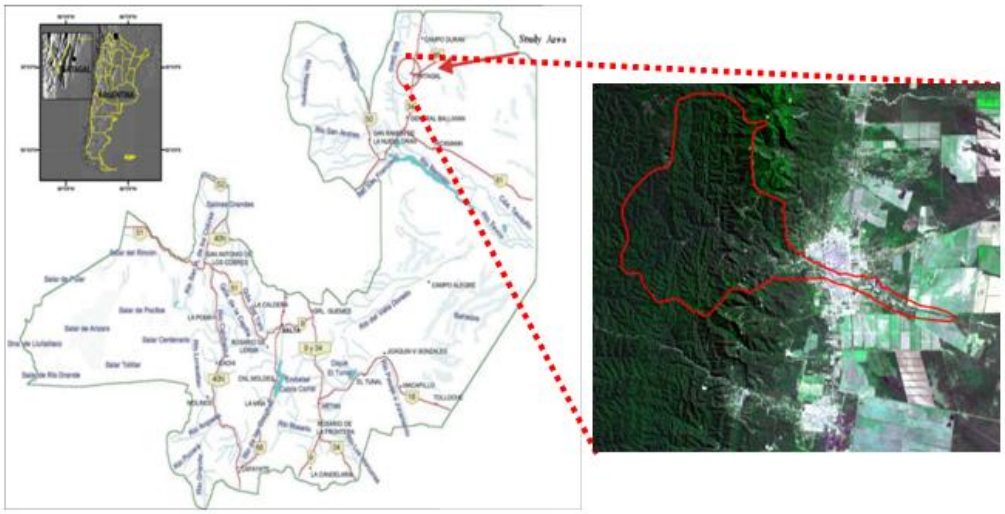

Figura 1. Localización de la Ciudad de Tartagal y Cuenca del Río Homónimo, en la Pcia. de Salta-Argentina sobre una composición RGB: 431 de la imagen ASTER, de fecha 04/09/2004.

Los datos fueron provistos por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) (@ CNES 2012, Distribution SPOT Image S. A., Francia, todos los derechos reservados).

La imagen SPOT-4 se corregistró con una imagen ASTER ortorrectificada. Para ello, se tomaron 20 puntos de control (GCP, del inglés "*Ground Control Points*") distribuídos uniformemente, con un error cuadrático medio de 0,98. El método de remuestreo "vecino más cercano", calculado como un polinomio de grado 2 fue aplicado. Previamente, los datos fueron calibrados radiométricamente y se obtuvieron las reflectancias. La clasificación automática final, también se corregistró usando los GCP previamente localizados.

La identificación preliminar de los procesos de remoción en masa se basó en la interpretación de distintas composiciones falso color de la imagen SPOT-4; con asistencia de una imagen ALOS-AVNIR-2, nivel 1B2, de fecha 26/07/2007, también provista por CONAE. Cabe mencionar, que en las diferentes composiciones color, se usó la banda del infrarrojo cercano, la cual permite distinguir claramente entre zonas con y sin cobertura vegetal. Fueron definidas regiones de interés (ROIs, del inglés "*Regions of Interest*") de áreas de bosque y movimientos de laderas. Se evaluó la separabilidad espectral de las mismas, por medio de los Índices de Jeffries-Matusita y de Divergencia Transformada. Las ROIs, fueron utilizadas luego como sitios de entrenamiento para una Clasificación Supervisada con el algoritmo de Máxima Probabilidad. De esta manera, el proceso de identificación y mapeo, que tradicionalmente se basa en la interpretación visual, se vió facilitado por la automatización brindada por el algoritmo empleado. Durante el proceso de clasificación, se introdujo un factor de escala de datos de 10,000 para convertir datos de reflectancia en números enteros. Esto se realizó porque los datos SPOT se encontraban escalados en el rango de 0 a 10,000. Dado que es común que los procesos de remoción en masa presenten similitud espectral con lagunas, caminos, zonas urbanas, ríos y lechos del río (Martha et al., 2010), se aplicó una máscara previo al corregistro y clasificación de la imagen SPOT-4. Una máscara de la cuenca baja también fue delineada de manera de excluir esa zona de los análisis, ya que ésta parte el bosque ha sido totalmente modificada.

Se probaron varios umbrales de probabilidad del algoritmo (variando el umbral de clasificación que mejor describía los movimientos de laderas en un ±10 %) para las clases analizadas, con el objeto de evaluar las clasificaciones resultantes mediante los criterios

comúnmente adoptados por los geomorfólogos en fotografías aéreas, tales como: análisis visual e interpretación heurística del tamaño, color, tono, textura y patrón individual y colectivo mostrados (Ray, 1960; Miller, 1961; Rib and Liang, 1978; van Zuidam, 1985; Fiorucci et al. 2011), y de ésta manera decidir cuál clasificación fue la más representativa de los movimientos de laderas del evento. Posteriormente, se realizaron procesamientos post-clasificación, para eliminar píxeles aislados. Finalmente, se evaluó la precisión de la clasificación obtenida, con cinco registros de campo, distribuídos en dos zonas de la cuenca. Los mismos fueron tomados días posteriores al evento mediante GPS Garmin por una Comisión enviada por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) (Tabla 1, Figura 2).

Tabla 1. Localización y descripción de los movimientos de laderas registrados mediante GPS Garmin, en el sur (Quebrada El Aguay) y noreste (Yariguarenda) de la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina). (Fuente: V. Baumann-SEGEMAR).

Zona	Punto	Coordenadas	Descripción
Quebrada del Aguay	155	63°53'37.83" W 22°30'41.47" S	Deslizamiento de suelos ocurrido en la barranca de la Quebrada.
	154	63°53'42.73" W 22°30'49.69" S	Flujo que provino de una quebrada perpendicular a la Quebrada del Aguay y deslizamiento que se asentaron en el camino que va a la planta potabilizadora el Aguay.
Yariguarenda	1	63°51'21.32" W 22°29'33.28" S	Deslizamiento de suelos que se produjo en una pequeña quebrada perpendicular al camino que lleva a Yariguarenda.
	2	63°51'25.84" W 22°29'30.78" S	Deslizamiento de suelos que se produjo en ambos laterales de una pequeña quebrada, los materiales removilizados se encauzaron hacia un arroyo (Figura 4.1.2).
	4	63°51'26.78" W 22°29'19.74" S	Deslizamientos de suelos que se produjo en una pequeña quebrada perpendicular al arroyo.

2.3. Análisis Cuantitativo

El volumen del material removido durante el evento se estimó a partir del área total ocupada por los movimientos en masa (obtenido como N° píxeles clasificados x área del píxel de la imagen SPOT-4), y del espesor empírico mínimo (0.5 m) y máximo (1 m) mediante la fórmula:

$$\textbf{Volumen} = A_T \times Ee \quad (1)$$

donde:

$\mathbf{A_T}$: es el área total ocupada por los movimientos en masa

Ee: es el espesor empírico del material movilizado

Estos valores promedios de espesores se basan en observaciones de campo realizadas por el SEGEMAR, inmediatamente después del evento. El volúmen calculado del material removido se usó como una aproximación de la magnitud del evento (una cuantificación de la energía probablemente disipada por las fallas de las pendientes y del posible daño) (Guzzetti et al., 2009), definido como:

$$\textbf{Magnitud} = \text{Log}_{10}\, V_T \quad (2)$$

donde:

$\mathbf{V_T}$: es el volúmen total removido durante un evento.

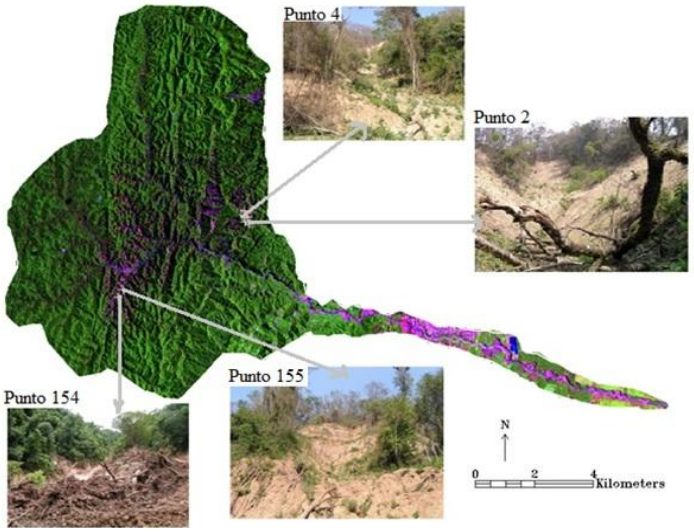

Figura 2. Puntos utilizados para la validación de la clasificación en dos zonas de la cuenca del río Tartagal (Salta, Argentina), registrados luego del evento del año 2009. (Fotos: V. Baumann).

3. Resultados y Discusión

De acuerdo con Guzzetti et al., (2009) el conocimiento del número, localización, área y volumen de los movimientos en masa es importante para evaluar la evolución de los paisajes dominados por éstos procesos a largo plazo y para la determinación del riesgo asociado.

En muchas partes del mundo y Tartagal no es la excepción, los procesos de remoción en masa ocurren en grupos. La clasificación digital basada en píxeles, posibilitó el mapeo de los movimientos en masa, pero no permitió identificarlos individualmente y por ende no fue posible calcular áreas y volúmenes individuales, ni sus estadísticas asociadas. Sin embargo se estimaron valores totales. Cabe destacar que no es tarea fácil determinar el volúmen de los movimientos individuales. En este sentido, Jacob (2005) sostiene que el desafío de lograrlo es determinar cuál falla ocurrió durante un evento específico ya que en ambientes tropicales y subtropicales, múltiples fallas son comunes en una misma cuenca. Por tanto, si bien se presentan resultados totales, éstos hacen un gran aporte al conocimiento de éste evento en particular y sientan una base para futuros estudios. Asimismo, el análisis volumétrico que se presenta será de utilidad en la implementación de estrategias de gestión del riesgo.

Los resultados revelan que la magnitud probable del evento estuvo comprendida entre 5,5 y 6,8 y que tanto el rango del área afectada por los procesos de laderas, como el volumen de material removido, estuvieron comprendidos probablemente entre los órdenes de magnitud de 10^5 y 10^6 (Tabla 2). Estos datos apoyan las consecuencias potenciales sugeridas por Jacob, (2005) para éste rango de valores de área y volúmen. Así, el evento sería de clase 6 de magnitud (de las 10 posibles) y podría destruir ciudades, arrasar valles y represas de ríos. De hecho, algo similar es lo que sucedió en el evento del año 2009, en el cual hubo daños en gran parte de la ciudad de Tartagal (afectó a numerosos barrios y destruyó masivamente las viviendas), dejó un saldo de 1,000 evacuados, más de 30,000 damnificados y 2 personas perdieron la vida. El volumen del material movilizado, calculado a partir del inventario de procesos de remoción en masa, resultó en el mismo orden de magnitud (10^6 m^3) que el volumen de sedimento que se depositó en la ciudad de Tartagal luego del alud (Baumann et al., 2009). Estos datos ponen en evidencia una correspondencia entre el material erosionado en las cuencas alta y media y el depósito en el pié del abanico.

Tabla 2. Número de pixeles identificados como positivos para movimientos en masa, estimación del área afectada, volumen del material movilizado por los procesos de remoción en masa, y magnitud del evento del año 2009 en la cuenca del río Tartagal con diferentes umbrales aplicados al algoritmo de clasificación de Máxima Probabilidad.

Umbral de Clasificación	N° píxeles Clasificados	Área (m^2)	Volumen (m^3)	Magnitud ($Log_{10}V_T$)
0.873	77,544	8×10^6	6×10^6	6.8
0.970	29,449	3×10^6	2×10^6	6.3
0.990	3,420	3×10^5	3×10^5	5.5

La clasificación digital basada en píxeles aplicada en este estudio, presentó una ventaja comparada con las tradicionales interpretación visual y mapeo manual. Así, facilitó la identificación rápida de los movimientos en masa. Esta es una característica apreciada particularmente por los agentes responsables de la gestión del riesgo que valoran la obtención de resultados rápidos. Las técnicas de clasificación basadas en el patrón de respuesta espectral por píxel, han sido cuestionadas por varios autores aduciendo que poco se relacionan con los procesos geomórficos complejos, como lo son los procesos de remoción en masa (Barlow et al., 2006, Martha et al., 2010) y además tales técnicas no permitirían la correcta discriminación ya que se confunden con otras superficies similares espectralmente, como por ejemplo zonas áridas (Epp and Beaven, 1988). En este sentido, los resultados obtenidos muestran que si es posible tomar sólo la firma espectral del píxel para el reconocimiento de los movimientos de laderas, siempre y cuando se enmascaren otros elementos del paisaje que presenten características espectrales similares que puedan comprometer la precisión de la detección. Si se reconoce, que el "conocimiento experto" es crucial para la caracterización final de los movimientos en masa, es decir para otorgarle validez en el contexto geomórfico del paisaje. Sin embargo, éste también es requerido en un método muy usado actualmente ("Método orientado al objeto") y que está "de moda" en la comunidad científica (Marta et al., 2010; Van Den Eeckhaut et al., 2012; Fadel et al., 2014; Shruthi et al., 2014). Dicho método resulta atractivo dado que incorpora y relaciona información espectral, morfométrica y características diagnósticas contextuales de los movimientos en masa, sin embargo no se encuentra siempre disponible dado los altos costos del software que utiliza, lo cual limita su aplicación. El análisis visual y geomorfológico de las clasificaciones resultantes -tras aplicar varios umbrales de clasificación-, reveló que el valor de 0,97 mostró mayor correspondencia entre los movimientos identificados por el método automático y las cicatrices de movimientos en masa (Figura 3).

Es sabido que la posibilidad de reconocimiento de los procesos de remoción en masa en imágenes digitales depende en gran medida de la resolución espacial de la imagen en relación con el tamaño de los movimientos en masa (van Westen and Soeters, 2000; Fiorucci et al., 2011). La imagen SPOT-4, resultó suficiente para identificar los movimientos existentes en el área de estudio. Sin embargo, es posible que existan movimientos menores a 100 m^2. De acuerdo con Van Westen et al., (2008) si bien este tipo de imagen es útil en la identificación general de los procesos de remoción en masa, resulta insuficiente para determinar el tipo, por lo que sería necesario usar otros datos de mayor resolución espacial y/o espectral para este fin.

Guzzetti et al., (2005) resaltan que es necesario chequear la clasificación de los procesos de remoción en masa con una fuente externa de información. Lamentablemente para la validación

no hubo disponibilidad de otras fuentes de datos espaciales de mayor resolución para la fecha del evento y por tanto no fue posible obtener una matriz de confusión para evaluar la clasificación obtenida. Sin embargo los puntos tomados en campo permitieron validar los resultados de la clasificación. El clasificador mostró mayor rendimiento al clasificar mejor los movimientos de laderas que aquellas zonas correspondientes a la vegetación, ya que no fueron clasificadas en su totalidad (píxeles de color negro).

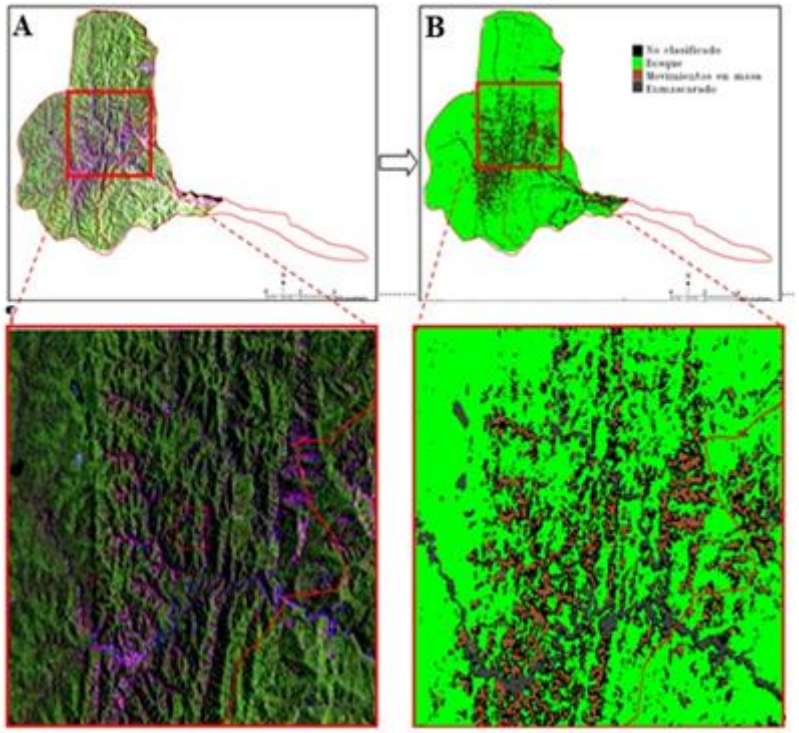

Figura 3. Identificación y mapeo de procesos de remoción en masa (sin discriminar por tipo), obtenido con el Algoritmo de Clasificación de Máxima Probabilidad, con un umbral de 0,97. A) Vista sobre una composición RGB: 431 de la imagen SPOT-4. B) Mapa de Clasificación resultante.

4. Conclusiones

La imagen multiespectral SPOT-4 post-evento 2009, resultó suficiente para identificar los procesos de remoción en masa.

La clasificación automática basada en la firma espectral del píxel, con asistencia del conocimiento experto, demostró ser un método útil para el mapeo de los procesos de laderas, dado que permitió la localización rápida y eficiente de los mismos. De esta manera, se obtuvo el primer mapa inventario de procesos de remoción en masa de la cuenca del río Tartagal (Salta) y no solo hizo un aporte al entendimiento de la ocurrencia espacial de tales procesos en el área, sino que también resultó en una buena aproximación para evaluar la magnitud/intensidad del evento.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), Fundación Capacitar del NOA y la Secretaría de Ambiente de la Provincia de Salta (Argentina).

Referencias Bibliográfícas

Baumann, V.; Seggiaro, R.; Azcurra, D.; V. García. Inundación de detritos en la ciudad de Tartagal, provincia de Salta (Argentina). Serie Contribuciones Técnicas: Peligrosidad Geológica N°15, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, 2009. 26 p.

Barlow, J.; Franklin, S.; Martin, Y. High spatial resolution satellite imagery, DEM derivates and image segmentation for the detection of mass wasting processes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** v. 72, p. 687-692, 2006

Brardinoni, F.; Slaymaker, O; Hassan, M. A. Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. **Geomorphology**, v. 54, p. 179–196, 2003.

Cruden, D.M. A Simple definition of a landslide. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, v 43, p. 27-29, 1991.

Epp, H.; Beaven, L. 1988. Mapping slope failure tracks with digital thematic mapper data. In: IGARSS'88, Proceedings of the 1988 International Geosciences and RemoteSensing Symposium on Remote Sensing, 13–16 Sept. 1988, Edinburgh, Scotland. IEEE, New York. Vol. 3, p. 1649–1652.

Fadel, I.E.; N. Kerle; M. van der Meijde. 3D object-oriented image analysis of geophysical data. **Geophysical Journal International**, v. 198, p. 357-365, 2014.

Fiorucci, F.; M. Cardinali; R. Carla; M. Rossi; A. C. Mondini; L. Santurri; F. Ardizzone; F. Guzzetti. Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images. **Geomorphology**, v. 129, n. 1-2:59-70, 2011.

Guzzetti, F.; A. Carrara; M. Cardinalli; P. Raichenbach. Landslide hazards evaluation: a review of current techniques and their applications in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, p. 181-216, 1999.

Guzetti, F.; M. Cardinalli, P. Reichenbach; A. Carrara. Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy. **Environmental Management**, v. 25, p. 247-263, 2000.

Guzzetti, F.; P. Reichenbach; M. Cardinalli; M. Galli; F. Ardizzone. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. **Geomorphology**, v. 72, n. 272-299, 2005.

Guzzetti, F.; F. Ardizzone; M. Cardinalli; M. Galli; M. Rossi; D. and Valigi. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, Central Italy. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 279, p. 222-229, 2009.

INDEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censo de la Republica Argentina. 2010.

-Jakob, M.. Debris-flow hazard and analysis. In: Debris flow hazards and related phenomena. M. Jakob, M. and Hungr, O. (Ed.). **Springer-Praxis books in geophysical sciences**, Chichester., 2005 p. 411-443,

-Malamud, B. D.; D. L. Turcotte; F. Guzzetti; P. Raichenbach. Landslide inventories and their statistical properties. **Earth Surface Process and Landforms**, v. 29, p. 687-711, 2004.

Marta, R. T.; N. Kerle; V. Jetten; C. J. van Western; K. V. Kumar. Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. **Geomorphology**, v. 116, n. 24-36, 2010.

Miller, C.V. **Photogeology**. Mac Graw Hill Book Company Inc., London. 1961.

Ray, R.G., Aerial Photographs in Geological Interpretation and Mapping. Geological Survey Professional Paper 373, Washington, USA. 1960.

Rib, H.T.; T. Liang. Recognition and identification. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J.(Eds.). **Landslide Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report 176**. National Academy of Sciences, Washington D.C, 1978, pp. 34–80.

Shruthi, R.B.V.; N. Kerle; N., Jetten; V.G. Abdellah; L.; I. Machmach, I. Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis. In: Catena, 2014. In Press, 6 p.

van Zuidam, R.A. Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. ITC. Smits Publishers, The Hague, Netherlands, 1985.

van Den Eeckhaut, M.; N. Kerle; J. Poesen; J. Hervás. Identification of vegetated landslides using only a lidar-based terrain model and derivatives in an object-oriented environment. In: Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012 - Rio de Janeiro - Brazil. p.211, 2012.

van Westen, C. J.; R. Soeters. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Natural Disaster Management. In: Roy, P..; van Westen, C. J. and P. Champati Ray (Eds.): **Natural Disasters and their mitigation. A Remote Sensing and GIS Perspective**. Indian Institute of Remote Sensing. National Remote Sensing Agency, India, p. 31-76, 2000.

-van Westen, C. J.; E. Castellanos; S. L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: an overview. **Engineering Geology**, v. 102, n. 112-131, 2008.