

Tratamiento de datos geotecnológicos para la obtención de información espacial en relación a Riesgos Naturales en Potrerillos, Mendoza

Geotechnological data treatment for obtaining spatial information in relation to Natural Hazards in Potrerillos, Mendoza

H. Cisneros^{1,2}, J. Torres^{1,3}, E. Castañón¹,
L. Cerrudo²

¹Universidad Juan Agustín Maza

²Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo

³INSUTEC

Contacto: hcisneros@umaza.edu.ar

Palabras claves: teledetección, imágenes OLI, ETM+, peligro y riesgo geológico e hidrológico

Keywords: Remote sensing, OLI, ETM+ images, geological and hydrological hazard and risk

Resumen

Las villas cordilleranas de Potrerillos, al suroeste de la zona metropolitana de Mendoza, tienden a alojar y sostener procesos geológicos de orden interno y externos relacionados a eventos sísmicos y aluvionales, entre otros. La creciente y descontrolada urbanización que esta zona turística está teniendo, hace que gran parte de la población se desplace hacia áreas de importantes pendientes, generadoras de fenómenos relacionados con eventos pluviométricos estivales donde se activan procesos de remoción en masa, que en parte son activados por acontecimientos sísmicos, comunes en el área. Estos procesos junto a otros de menor orden, pero no así menos importantes, colocan a un núcleo de habitantes en Riesgo Geológico. Se presentan en esta oportunidad, los trabajos realizados tendientes a la elaboración de una cartografía de detalle para establecer planes de mitigación, zonificación y contingencia adecuados en la zona. Se realizaron estudios tomando información de sensores OLI, ETM+ y TM del programa LANDSAT, de los programas ASTER y SENTINEL2 a los efectos de establecer comparaciones multitemporales para determinar vectores de crecimiento urbano. Contemporáneamente a esto, se realizaron procesamientos digitales para establecer diferencias estratigráficas, topográficas, de orientación, actitud y de anisotropías propias de deformaciones estructurales que pudieran marcar parámetros físicos para determinar zonas de peligrosidad geológica e hidrológica activa. Dentro de estos análisis digitales se incluyeron trabajos con clasificación supervisada (*maximum likelihood*), por árbol de decisiones (utilizando modelos digitales de elevación a partir de datos propios), *density slice*, componentes principales

y *decorrelation stretch*. Los resultados aportaron una salida cartográfica RASTER de detalle, la cual, complementada con trabajos de campo, permitieron resumir información para establecer exitosamente zonas de potencial peligro sísmico e hidrológico. Se presentan en esta oportunidad los gráficos resultantes.

Abstract

The Potrerillos zone, southwest of the metropolitan of Mendoza, tends to accommodate and sustain geological processes of internal and external order related to seismic and alluvial events, among others. Because of the growing and uncontrolled urbanization especially of this tourist city, much of the population is moving into areas of significant slope, generating phenomena related with summer rainfall events activating landslides. These processes together with other of lower order, but not less important, expose thousands of people to Geological Risk. The development of mapping detail to establish mitigation plans, zoning and adequate contingency in the studied area, are presented here. Studies with the base of OLI, ETM + and TM Landsat Program, STER program and SENTINEL2 sensor information were made, in order to perform, multi-temporal studies to determine Urban Growth rates. Simultaneously, digital processing was performed to establish stratigraphic, topographic differences, orientation, attitude and anisotropies because of structural deformations that could make physical parameters to determine geological and hydrological active hazard areas. Supervised classification (*Maximum Likelihood*), decision tree (using digital elevation models from own data), density slice; Principal components and decorrelation stretch were included. The results provided a

detailed cartographic output RASTER, complemented by field work, that allowed summarize information to successfully establish zones of seismic and hydrological potential hazard. The resulting graphs are presented in this opportunity.

Introducción

El centro oeste argentino se caracteriza por ser una zona con alto riesgo ante procesos naturales de origen geológico e hidrológico destructivos, potenciado en los oasis por la alta concentración urbana existente y por la presencia de eventos destructivos históricos que marcaron la historia de esta provincia y cambiaron radicalmente su constitución y concepción urbanística y social. Esto fundamenta la necesidad de tener en cuenta el hecho en las actividades humanas y en la planificación de la prevención de sus efectos.

Si bien es cierto que los procesos hídricos destructivos acompañan al hombre desde sus albores, el advenimiento de la expansión urbana en todo el mundo con el incremento demográfico de la población como así también el éxodo del campo a las ciudades y viceversa son elementos sociales que han incrementado las consecuencias de estos fenómenos. Se vincula de éste modo, el ordenamiento territorial y la planificación a la reducción del riesgo aluvional y sísmico.

Se pretende con esta contribución realizar un avance en la prevención de los efectos negativos que un proceso destructivo podría generar en una zona de gran crecimiento en los últimos años, que se suma al incremento poblacional estacional por impacto turístico como son las villas cordilleranas de Potrerillos. Se presenta cartografía RASTER tendiente a la identificación, jerarquización y planificación medioambiental.

Metodología

Con el fin de estimar la presencia de estructuras geológicas, grado de peligrosidad y riesgo potencial de los fenómenos de remoción en masa presentes en la localidad de Potrerillos se aplicaron diversas metodologías de análisis tomando como base información espectral y espacial recibida de sensoramiento remoto de diversas resoluciones. El objetivo principal es dilucidar si las metodologías convencionales de trabajo se complementan con sistemas actuales de manejo y procesamiento de imágenes para detectar en forma más acertada y rápida los elementos del terreno a analizar. La metodología utilizada incluye la realización de cartografía base, utilizándose imágenes de satélite de distintos sensores; sobre el plano resultante se volcó la información previa, geológica,

geomorfológica y puntualmente datos relevantes (sísmicos, climáticos, hidrológicos, etc.)

El paso posterior consiste en la realización de un mapa con ubicación de los eventos de remoción en masa visibles en imágenes en papel, con los siguientes niveles de análisis:

- **Análisis Espacial:** se mapearon los eventos detectados en capas en un Sistema de Información Geográfico (SIG). En éste se incluyó puntualmente información adicional (sismicidad, datos meteorológicos, geología, geomorfología).
- **Análisis Temporal:** incluyó utilización de fotografías aéreas de los años 1963, 1981 y 1987, imágenes de satélite de distintos años en análisis multiespectral, complementando con un minucioso análisis histórico, comentarios de pobladores, investigación en archivos periodísticos (desde la década del 60 a la actualidad), finalizando con la supervisión de campo.
- **Análisis Espectral:** Se utilizó distintas imágenes, realizando Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), logrando identificar los flujos con relativa facilidad y rapidez.

Luego de la localización de eventos detectados con este procedimiento se realizó un mapa de riesgo jerarquizado de acuerdo a la proximidad de instalaciones humanas y obras de infraestructura.

Resultados

Los desastres naturales conforman un flagelo que, si bien a nivel geológico se mantienen equilibrados en cuanto a frecuencia, intensidad y magnitud, aparenta a la población haber aumentado principalmente en sus efectos sobre las cada vez más crecientes poblaciones. Según el Informe Mundial sobre Desastres IFRC (*World Disaster Report*, 2011), 4.022 desastres naturales ocurrieron entre 2001 y 2010 en todo el mundo, matando a un total de 1.221.332 personas. La intensa urbanización y la ocupación desordenada, que son problemas que se identifican claramente en la zona de análisis, promueven la presencia de una importante densidad de población en zonas de riesgo, que pueden ser responsables del aumento de los desastres naturales y de la pérdida de vidas humanas (Manfre et al., 2012). Algunos desastres naturales ocurren de una manera abrupta y afectan a grandes áreas; Por lo tanto, es difícil desarrollar planes de prevención. En la zona cordillerana mendocina, los deslizamientos de tierra y la ubicación de focos sísmicos tienden a ser mapeada con facilidad, y la gente que va a ser potencialmente afectada puede predecirse con antelación. Debido a su versatilidad, sistematicidad y aplicabilidad, la teledetección (TD), Sistema de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) se constituyen en técnicas muy valiosas para la determinación en distintas ins-

tancias de gestión de riesgos y desastres. El objetivo principal de este trabajo es utilizar información satelital disponible en forma gratuita, a diversas escalas de trabajo y resoluciones para supervisar las condiciones geológicas, hidrológicas y climáticas a los fines de facilitar la planificación, la mitigación y la rápida respuesta en caso de desastres naturales en la zona de estudio. El uso de imágenes de satélite son complementos mejorados y económicos de los procesos tradicionales de las medidas *in situ* y son herramientas importantes para permitir el análisis geoespacial y productos para satisfacer las exigencias operativas de los sistemas de soporte de decisiones para todo tipo de desastres naturales (Manfré *et al.*, 2012). Hay una diversa y creciente constelación de satélites de teledetección, y diferentes tipos de imágenes con distintas resoluciones espaciales, espectrales y radiométricas sirven para explorar y pronosticar desastres naturales (Thomas *et al.*, 2007).

Ubicación y generalidades del área de estudio: La comarca rural y turística enclavada en la cuenca del río Blanco, mayormente conocida como Potrerillos, se ubica 50 kilómetros al SW de la ciudad capital de la provincia de Mendoza, sobre el río homónimo, con coordenadas 32°57' Lat S y 69°13' Long. W. en el departamento Luján de Cuyo (Mendoza) (Figura 1).

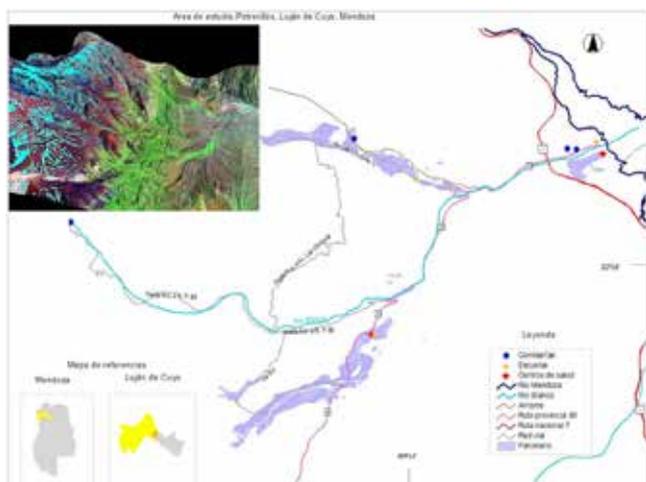


Figura 1: Ubicación del área de estudio. En la parte superior procesamiento de imagen TC ETM+ 3D (RGB 321) con DEM SRTM

Estas áreas y otras circunvecinas, se han visto azotadas en los últimos tiempos por episodios acíclicos de origen natural, que conformaron verdaderas situaciones de desastre tanto económico como social. A esto se suma la situación de una región con crecimiento desmesurado, con inicios de ocupación territorial en los comienzos sin códigos claros de ordenamiento ambiental y urbano, que le confieren una alta vulnerabilidad ante peligros de origen geológico e hidrológico propios del sector cordillerano en que se halla inserta.

En el periodo estival se observaron en las nacientes de esta cuenca fenómenos de inundación de detritos (*debris flood*) que tuvieron su climax el 7 de febrero del 2013, con casi una veintena de aludes en Uspallata y con la crecida del arroyo Las Mulass en la zona de Las Vegas, produciendo cuantiosos costos económicos y la interrupción del corredor internacional. A esto se suma que la zona se encuentra dentro de uno de los sectores con mayor sismicidad en Argentina. Se presenta en esta contribución cartografía SIG con identificación y jerarquización de procesos naturales potencialmente desastrosos en el área (Figura 2).



Figura 2: Proceso de debris flood en la zona circunvecina al valle de Potrerillos, inutilizando la ruta internacional a Chile (foto archivo gobierno de Mendoza, febrero 2013).

Procesamiento Digital De Imágenes (PDI): Se trabajó con imágenes de distintos sensores como TM (Landsat 5) de 30 metros de Resolución Espacial (MRE), ETM+ (Landsat 7) de 30 MRE multiespectral y 15 MRE pancromática, OLI (LDCM Landsat 8) 30 MRE multiespectral y 15 MRE pancromática y de los módulos VNIR (15 MRE) y SWIR (30 MRE) de ASTER. Todas ellas fueron descargadas en forma gratuita de distintos servidores como ESDI (<http://glcf.umd.edu/data/>), LIBRA (<https://libra.developmentseed.org/>) y USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). También se investigaron las posibilidades de imágenes alternativas de descarga gratuita de muy buena calidad como SENTINEL2 del programa COPERNICUS (10 MRE). El procesamiento se realizó con dos software específicos: ENVI 5.0 y SOPI 3.0

Se comenzó realizando una serie de preprocesamientos básicos para poner a punto las imágenes para iniciar el PDI, que incluyeron apilamiento de las mismas, georeferenciación de detalle (imagen a imagen con el procesador Global Mapper 15.0) y corrección atmosférica con el módulo FLAASH de ENVI. Realizado esto, se procesaron las imágenes multiespectrales con los siguientes PDI:

Filtrados direccionales: se buscó con este PDI realzar la dirección y orientación de las estructuras principa-

les en el área, con el objeto de cuantificar los elementos primarios (estratificación, contactos, geofor- mas) y secundarios (fallas, diaclasas) según su mayor aparición espacial. Los resultados fueron variados y se concluye que la dirección con mayor preponderancia es la de N15°E con el filtro de kernel 90 (Figura 3).

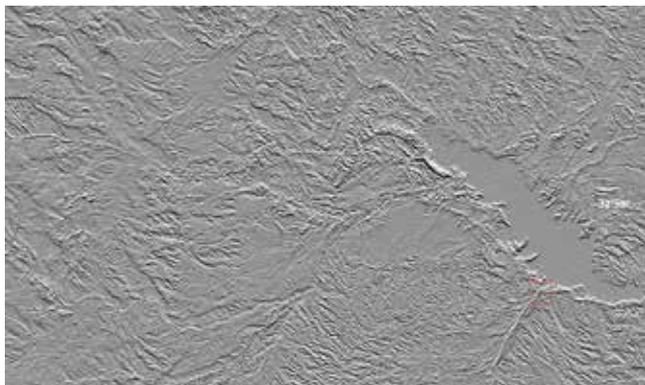


Figura 3: Filtrado direccional con kernel 90 ENVI (realizando direcciones E-O con elevación desde el N) mostrando preponderancia de elementos estructurales N15°E.

Indices: los índices normalizados fueron creados para dar una respuesta sencilla en el realce de distintos elementos, principalmente vegetación, agua, suelo, entre otros, y sus respectivos contrastes. El más conocido es el NDVI Normal *Difference Vegetation Index* (Rouse *et al.* 1974) para marcar la diferencia entre vegetación y resto de elementos con números digitales (ND) que van entre -1 y 1. Este procedimiento relaciona las bandas del infrarrojo cercano y el rojo, presente en todas las imágenes ópticas con las que se contó para este trabajo. Se optó por realizar un estudio multitemporal utilizando imágenes desde el año 1986 hasta la actualidad con este índice, dado que marca perfectamente las variaciones de crecimiento a partir de la presión antrópica, con excelentes resultados (Figura 4).

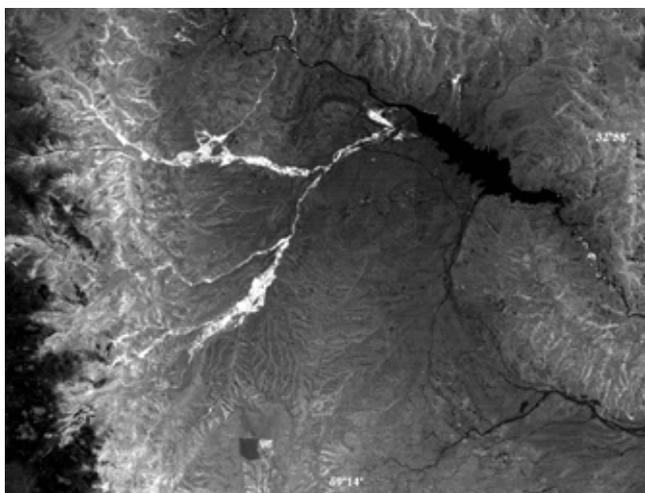


Figura 4: NDVI. Este simple procedimiento marca una excelente respuesta para el trabajo multitemporal, realizado principalmente con imágenes MSS, TM, ETM+ y OLI.

Otros índices observados fueron: SAVI *Soil Adjusted Vegetation Index* (Huete, 1988) para determinar las características reflectivas del suelo y MSAVI2 *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* (Qi *et al.*, 1994) que no dieron buenos resultados, encontrándose el grupo de trabajo en proceso de modificación de estos índices para la obtención de mejores respuestas digitales.

Transformaciones digitales en imágenes RASTER:

se realizaron numerosas experiencias en las imágenes satelitales con las que se cuenta, entre ellas PDI como Análisis de Componentes Principales ACP (cuyo análisis se encuentra en fase de ejecución, dada su complejidad estadística), *Tasseled cup*, *photographic stretch* y *decorrelation stretch*, (figura 5) y diversos tipos de clasificaciones siendo las que mayor información brindaron las realizadas a través del sistema de árbol de decisiones, con datos de elevación propios y del DEM de ASTER descargado desde *earthexplorer*. La construcción de cartografía RASTER definitiva se encuentra en proceso de construcción en la actualidad, esperando contar con elementos de mayor resolución espacial y espectral para mejorar la información obtenida.



Figura 5: *Decorrelation stretch*, realizado a imagen ETM+ bandas 742, mostrando un excelente contraste entre elementos abióticos, suelo y crecimiento de las villas a partir de la presión antrópica.

Discusión

El análisis de riesgo natural es un estudio de tipo multidisciplinario que, en zonas cordilleranas, requiere de una serie de estudios complejos dada la irregular distribución de todos los elementos estructurales presentes. Es por esto que la cartografía digital, los SIG y la Teledetección, junto con los GNSS que se incluyen dentro de las geotecnologías de vanguardia, confieren un conjunto de herramientas digitales que proveen innumerables ventajas en cuanto a optimización de tiempo y dinero, mejorando sensiblemente la posibilidad de realizar cartografía adecuada para la con-

fección de mapas de peligro y riesgo, fundamentalmente de origen geológico e hidrológico en el área de análisis. Esto redundaría claramente en una correcta planificación a partir de la posibilidad de pronosticar la influencia de estos factores sobre las estructuras civiles que vienen presentándose de una manera caótica y desordenada, con poca intervención de organismos dedicados al ordenamiento territorial. Sería recomendable aplicar una Planificación Urbana para todas aquellas viviendas y proyectos turísticos y recreativos ubicados en las márgenes del Río Blanco, en su zona de influencia inmediata y/o áreas de posibles deslizamientos, ya que como ha pasado en ocasiones anteriores las fuertes crecidas del río, sobre todo en época estival provocan el inicio de fenómenos destructivos como los *debris flood*.

Es necesaria la aplicación de un plan de ordenamiento territorial y de usos del suelo, con una propuesta de zonificación según la aptitud natural y demandas tanto de la población residente como la pasajera. Es por ello que las herramientas geotecnológicas se presentan como una excelente alternativa a la hora de una correcta planificación

Conclusiones

El sector analizado (villas cordilleranas de Potrerillos) se encuentra sometido a una serie de procesos dinámicos no sistemáticos de origen geológico (sismos, deslizamientos, etc) e hidrológico (*debris flood*). Las cuencas analizadas, son cuencas de evacuación de sedimentos de una importante magnitud sobre las cuales no existen obras de defensa aluvional, las cuales podrían brindar protección parcial de la población que resguardan. El levantamiento de algunas estructuras de edad cuaternaria, generaría endicamiento sobre

el río, alterando su cauce y generando que sectores con alto grado de población se vean afectados por eventos hidrológicos. Además las urbanizaciones crecientes en el sector influyen en el aumento crítico del riesgo de *debris flood*, ya que para el asentamiento y desarrollo de la población, se genera un cambio en el medio natural y geomorfológico, desde la modificación de cauces fluviales de régimen efímero hasta la construcción de complejos habitacionales en sectores fluviales que provocan que el agua caída durante un episodio pluvial estival, presente una superficie libre de movimiento creciente, aumentando su velocidad, poder erosivo y de transporte de material. La creciente población en el área, introduce un disparador de vulnerabilidad muy alto, por lo que si se aplica el concepto de riesgo (amenaza por vulnerabilidad), se aprecia un escenario de alto riesgo en los sectores medios a proximales del área analizada. Las geotecnologías, junto con la generación de cartografía digital demuestran ser una herramienta eficaz, económica y rápida para producir cartografía que ayude a disminuir el riesgo que presentan estas localidades ante procesos naturales destructivos

Agradecimientos

Especial agradecimiento al área de Ciencia y Técnica de la Universidad Juan Agustín Maza, por financiar el proyecto (convocatoria 2013) «Zonificación de eventos destructivos de origen geológico e hidrológico en el área de Potrerillos, Mendoza. Propuestas de Gestión Ambiental y Ordenamiento Territorial Local», que permitió la realización del presente trabajo; a personal jerárquico de la Facultad de Ingeniería de la UMaza y a los becarios alumnos que colaboraron en la ejecución del mismo (Tamara Arce, Marina Ramos, Antonella Batte y Bianca Villegas).

Bibliografía

- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25, 295-309.
- IFRC. World Disaster Report (2011). *International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies*: Geneva, Switzerland.
- Manfré, L., Hirata, E., Silva, J. B., Shinohara, E. J., Giannotti, M. A., Camargo Larocca, A. P., & Quintanilha, J. A. (2012). An Analysis of Geospatial Technologies for Risk and Natural Disaster Management. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2012, 1, 166-185; doi:10.3390/ijgi1020166.
- Thomas, D.S.K., Eturğay, K., & Kemeç, S. (2007) The role of Geographic Information System/Remote Sensing in Disaster Management. In *Handbook of Disaster Research*, (1st ed.); Rodríguez, H., Quarantelli, E.L., Dynes, R., Eds.; Springer: Newark, NJ, USA, pp. 83-96.
- Qj, J., Chehbouni, A. L., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index (MSA-VI). *Remote Sensing of Environment* 48, 119-126.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Freden, S. C. y Mercanti, E. P., Becker, M. (Eds.), *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol. 1: Technical Presentations, NASASP-351*. National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC, pp. 309-317.