

Identificación de infraestructuras viales y educativas de la cuenca del Paute en riesgo mediante técnicas de análisis espacial

David Villavicencio, Rocío Vásquez, Daniel Muñoz, Enrique Acosta

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva Ciudadela, Cuenca, Ecuador, 010150.

Autor para correspondencia: enrique.acosta@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2014 - Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2014

RESUMEN

Dentro de los planes de desarrollo socioeconómico de un país, las obras civiles como carreteras y centros educativos ocupan un puesto prioritario. Dependiendo de la ubicación geográfica, se producen distintos tipos de fenómenos naturales que pueden poner en peligro a dichas infraestructuras. Por tanto, el objetivo de este trabajo es identificar los centros educativos y carreteras de la cuenca del Paute que están expuestos a dos tipos de riesgos: inundaciones y movimientos de ladera. Para ello se han aplicado técnicas de análisis espacial vectorial en un Sistema de Información Geográfica. Los resultados muestran que el 14,6 % de centros educativos se encuentran en riesgo por inundación, y el 6,7% en riesgo por movimientos de ladera. Respecto a la vialidad, el estudio ha determinado que 42,9 kilómetros de vía se encuentran en riesgo por inundación, y 19,9 kilómetros en riesgo por movimientos de ladera.

Palabras clave: Riesgo, inundaciones, movimientos de ladera, infraestructuras, centros educativos, carreteras, cuenca del Paute.

ABSTRACT

Among the socio-economic development plans of a country, the civil works such as roads and education centers are a priority. Depending on geographic location, different types of natural phenomena can endanger these human elements. Therefore, the aim of this work is to identify education centers and roads exposed to two types of risk: flash floods and slope movements. To reach this goal, techniques of vector spatial analysis in a Geographic Information System have been applied. The results show that 14.6% of education centers are at risk of flooding, and 6.7% at risk of slope movements. Regarding the roads, the study found that 42.9 kilometers of track are at risk of flooding, and 19.9 kilometers at risk of slope movements.

Keywords: Risk, flash floods, slope movements, infrastructure, educational centers, roads, Paute basin.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de infraestructuras civiles es esencial para impulsar el desarrollo y el crecimiento económico de una sociedad. Las vías movilizan mercancías y personas a través de distancias considerables y son fundamentales para el sector del transporte. Los centros educativos acogen a cientos de niños y adolescentes que se forman en sus aulas para construir el futuro del país. Sin embargo, existen fenómenos naturales, como las inundaciones y los movimientos de ladera, que ponen en riesgo la integridad de las infraestructuras, afectando a su vida útil y poniendo en peligro vidas humanas. El ingeniero civil necesita contar con información pertinente y objetiva que le permita

determinar las zonas de riesgo que existen en el sector donde se construirá su proyecto, lo que influirá en la toma de decisiones durante el diseño y ejecución de la obra (SNGR, 2010).

El programa del Sistema de Información de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos de Ecuador constituye una herramienta de apoyo a la estrategia para la reducción de riesgos y desastres, y permite consolidar y difundir información relacionada con la gestión de riesgos cumpliendo con algunos principios entre los cuales destaca el acceso de información para una adecuada actuación de las instituciones y de la sociedad (SNGR, 2012). Sin embargo, la información que aporta este sitio web en la cuenca del Paute es limitada.

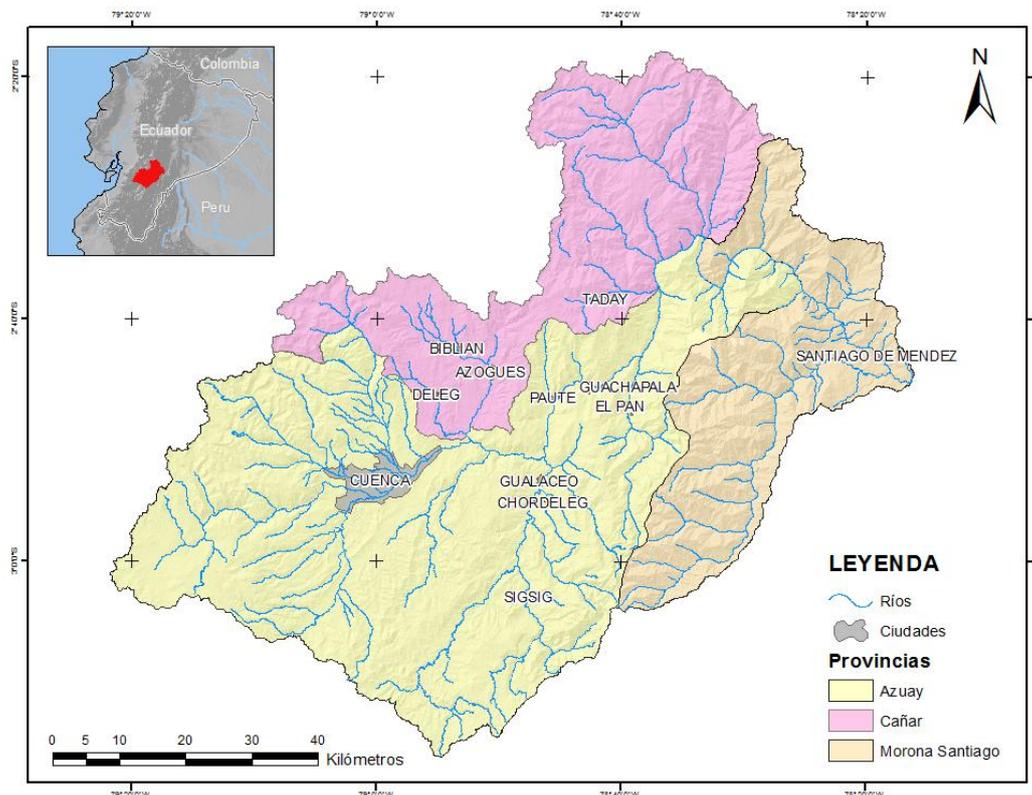


Figura 1. Cuenca del río Paute (tomada de la web de FONAPA, Fondo del Agua para la conservación de la cuenca del río Paute).

El objetivo de este trabajo es determinar qué centros educativos y qué vías de la cuenca del río Paute (Fig. 1) se encuentran en riesgo por inundación y por movimientos de ladera. Dicho análisis proporcionará un aporte técnico para la toma de decisiones ante futuros proyectos dentro de esta área o para crear planes de emergencia en caso de que ocurran desastres y/o emergencias que afecten a infraestructuras de esta cuenca hidrográfica.

La cuenca del río Paute comprende tres provincias y dieciséis cantones con una población aproximada de 900.000 habitantes, siendo Cuenca la ciudad más importante con 400.000 habitantes. Dentro del marco geológico regional, la cuenca del Paute se encuentra en la Cordillera de Los Andes, entre los paralelos 2°18' y 3°15' de latitud Sur y los meridianos 78°35' y 79°20' de longitud Oeste. Se trata de una zona montañosa por lo que el nivel freático está muy profundo en la mayor parte del territorio (Basabe *et al.*, 1996; Basabe, 1998; Bermeo, 2010). Sin embargo existen excepciones, como los sectores que se hallan a pocos metros de los ríos principales como el río Burgay, donde el nivel freático está muy somero y propicia la posibilidad de inundaciones durante una crecida de los ríos.

Las fuertes pendientes y la alta susceptibilidad a los movimientos de ladera de algunas formaciones geológicas hacen que los factores de disparo o desencadenantes (lluvias, sismos y actuaciones antrópicas) sean capaces de provocar movimientos de ladera (deslizamientos, desprendimientos de rocas o flujos de detritos) que pueden llegar a afectar de forma importante al

medio físico, como ocurrió con el deslizamiento La Josefina (Almeida *et al.*, 1993, 1996; Zeas, 1993; Basabe *et al.*, 1996 & 1998; Chamot *et al.*, 1993; INECEL, 1993), con 35 muertos más de 150 millones de dólares en pérdidas.

2. METODOLOGÍA

Los datos de las distintas capas de información con las que se ha trabajado en este estudio se obtuvieron a través del departamento del PROMAS (Programa para el Manejo del Agua y del Suelo) de la Universidad de Cuenca:

- Capa de movimientos en masa (polígonos).
- Mapa topográfico vectorial (polilíneas).
- Capa de centros educativos (puntos).
- Capa de ejes principales de carreteras (polilíneas).

En cuanto a la capa de polígonos de inundaciones por crecidas torrenciales, ésta ha sido elaborada siguiendo un criterio puramente geomorfológico basado en las huellas o evidencias que las inundaciones dejan en las márgenes de los ríos. Se ha supuesto una lámina de inundación promedio de 7 m de altura respecto al fondo de los valles identificados en el mapa topográfico (Fig. 2). Asumimos ésta gran simplificación del comportamiento hidráulico de los ríos y torrentes de las diferentes subcuencas, debido a que el estudio hidrológico-hidráulico y el cálculo de inundaciones para diferentes períodos de retorno quedaba fuera del primer alcance de este trabajo.

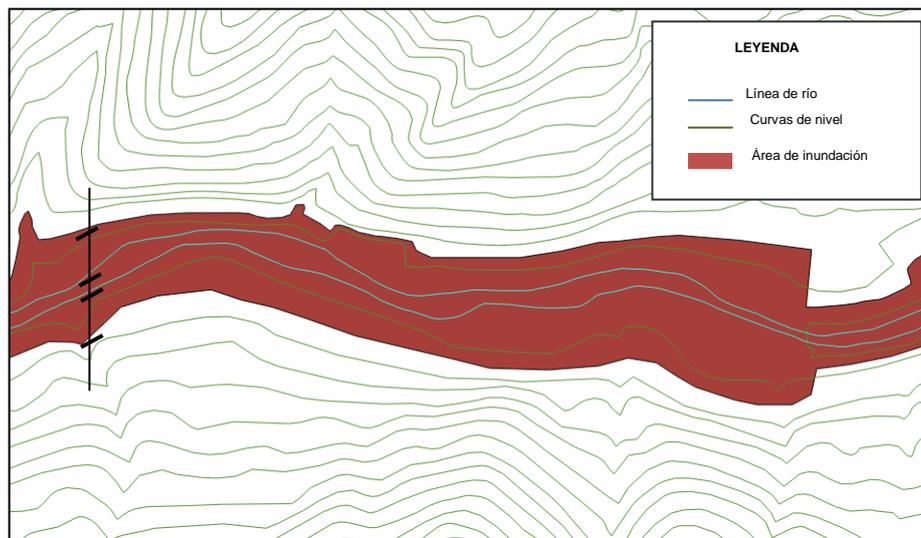


Figura 2. Ejemplo de delimitación de las zonas de inundación por crecida torrencial.

Para el análisis espacial y procesamiento de todas las capas de información consideradas se empleó un Sistema de Información Geográfica libre, concretamente QGIS.

Debido a la naturaleza geométrica de la capa de centros educativos (puntos) y de la de carreteras (polilíneas), fue necesario realizarles un buffer, de 50 m a las escuelas y 20 m a las carreteras, para considerar en el análisis espacial las zonas de influencia de dichas construcciones.

Posteriormente se realizó una intersección espacial de todas las capas vectoriales de información consideradas, por un lado las capas de infraestructuras (buffer de centros educativos y buffer de vías principales) y por otro lado, las capas de riesgos por inundación y por movimientos de ladera. Mediante este geoprocésamiento (Fotheringham *et al.*, 2000; Acosta *et al.*, 2002; Acosta, 2006) añadimos a la tabla de atributos de las capas de infraestructuras, los atributos de las dos capas de

riesgos, pudiendo finalmente identificar qué infraestructuras se encuentran en riesgo y qué tipo de riesgo (inundación, deslizamiento, flujo, desprendimientos, etc).

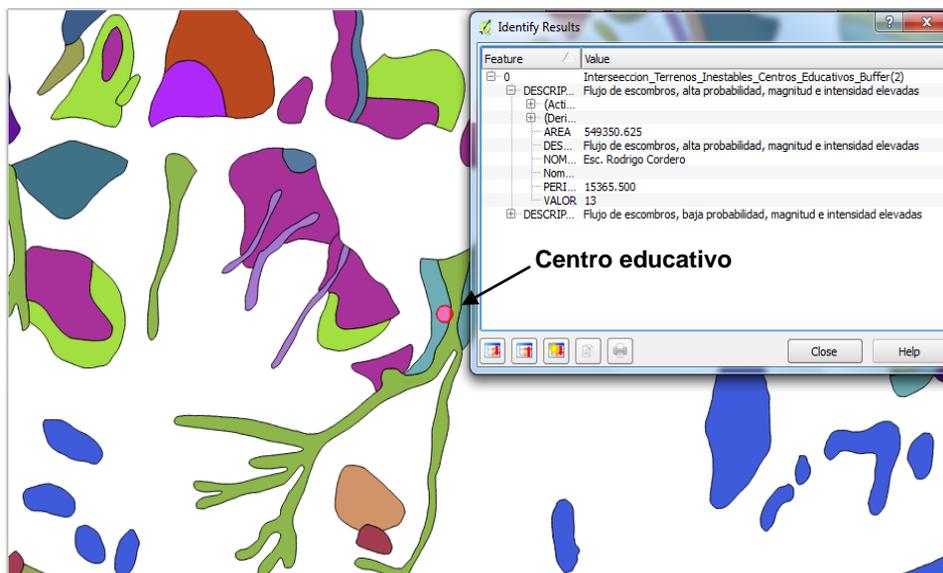


Figura 3. Demostración de resultados obtenidos luego de la intersección espacial de capas de información vectorial.

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la cantidad de centros educativos que se encuentran en peligro de inundación. El porcentaje de escuelas seguras frente a crecidas torrenciales es significativamente mayor que el número de escuelas en riesgo.

Tabla 1. Resultados en porcentajes de centros educativos en riesgo por inundación.

| Porcentajes de centros educativos en riesgo por inundación | | |
|--|-------------------|----------------|
| Descripción | Número de centros | Porcentaje (%) |
| Centros en riesgo | 13 | 14,6 |
| Centros fuera de riesgo | 76 | 85,4 |
| Total | 89 | 100 |

La Tabla 2 muestra los resultados de los centros educativos que se encuentran en zonas de movimientos de ladera. Al analizar las estadísticas se puede apreciar que el porcentaje de centros educativos que se encuentran en este tipo de riesgo es mínimo.

Tabla 2. Resultados de centros educativos en riesgo por movimientos de ladera.

| Porcentajes de centros educativos en riesgo por movimientos de ladera | | |
|---|-------------------|----------------|
| Descripción | Número de centros | Porcentaje (%) |
| Centros en riesgo | 6 | 6,7 |
| Centros fuera de riesgo | 83 | 93,3 |
| Total | 89 | 100 |

En la Tabla 3 se muestra el listado de centros educativos y su exposición a los dos tipos de riesgo considerados: inundación y movimiento de ladera. La escuela M. Veintimilla es la más vulnerable porque está expuesta a ambos riesgos.

Tabla 3. Centros educativos en riesgo por inundaciones torrenciales y movimientos de ladera.

| Centros educativos | Riesgo inundación | Río que inunda | Riesgo mov. ladera | Descripción del tipo de movimiento |
|---|-------------------|----------------|--------------------|--|
| Col. Gualaceo | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Col. Santo Domingo de Guzman | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Brasil (2) | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Ciudad de Gualaceo | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Daniel Córdova | SI | Río Paute | NO | |
| Esc. Inclusiva (Niños con discapacidad) | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Huayna-Capac | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Joaquín Correa | NO | | SI | Flujo de escombros, alta probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |
| Esc. Joaquín Malo | NO | | SI | Deslizamiento, baja probabilidad, magnitud e intensidad medianas |
| Esc. Jorge Meruhan | SI | Río Paute | NO | |
| Esc. Luis Cordero D. | SI | Río Paute | NO | |
| Esc. M. Veintimilla | SI | Río Paute | SI | Deslizamiento, baja probabilidad, magnitud e intensidad medianas |
| Esc. Manuel Vega | NO | | SI | Caída de rocas, baja probabilidad, magnitud e intensidad medianas |
| Esc. Martha Bucaram de Roldos | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Mercedes Vásquez de Correa | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Mercedes de Jesus Molina | SI | Río Gualaceo | NO | |
| Esc. Rafael Chico | NO | | SI | Deslizamiento, baja probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |
| Esc. Rodrigo Cordero | NO | | SI | Flujo de escombros, baja y alta probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |

Respecto a las carreteras, en la Tabla 4 se muestran los kilómetros de carretera que se encuentran en zonas de riesgo por inundaciones y en áreas de movimientos de ladera. Esta capa vectorial de carreteras no tiene atributos del nombre de las distintas vías, ni sus puntos kilométricos (PPKK), por lo que no ha sido posible especificar qué carreteras y qué PPKK se encuentran en riesgo, sólo hemos podido mostrar los resultados en forma global.

Tabla 4. Distancias de vías (km) que se encuentran en riesgos por inundación y en zonas de movimientos en masa.

| Carreteras en riesgo por inundación | | Carreteras en riesgo por movimientos de ladera | |
|-------------------------------------|------------------------------|--|--|
| Dist. (km) | Causa | Dist. (km) | Causa |
| 4,6 | Inundación Río Tomebamba | 1,8 | Caída de rocas, baja probabilidad, magnitud e intensidad medianas |
| 1,4 | Inundación Río Jadan | 4,2 | Deslizamiento, baja probabilidad, magnitud e intensidad medianas |
| 0,9 | Inundación Río Burgay | 2,4 | Deslizamiento, baja probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |
| 19,1 | Inundación Río Paute | 1,2 | Deslizamiento, alta probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |
| 10,7 | Inundación Río Gualaceo | 1,2 | Área sin movimientos detectados, pero susceptible de ser impactada por los fenómenos indicados |
| 0,6 | Inundación Río San José | 0,5 | Caída de rocas, alta probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |
| 2,8 | Inundación Río San Francisco | 0,9 | Combinación, magnitud e intensidad elevadas |
| 1,5 | Inundación Río Guallmincay | 0,2 | Erosión en cárcavas |
| 1,3 | Inundación Río Gulag | 0,5 | Erosión Laminar |
| | | 1,7 | Flujo de escombros, alta probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |
| | | 2,7 | Flujo de escombros, baja probabilidad, magnitud e intensidad elevadas |
| | | 2,6 | Reptación |

4. CONCLUSIONES

Según los resultados vistos en las tablas 1, 2 y 3, hay un total de 18 centros educativos en riesgo, 13 (16,4%) en riesgo de inundación y 6 (6,7%) en riesgo por movimiento de ladera. Sólo uno de ellos, concretamente, la escuela M. Veintimilla está expuesta a ambos riesgos. Afortunadamente, vemos que los porcentajes son relativamente bajos, sin embargo, no estaría de más comenzar a tomar medidas de prevención ante posibles eventos. La reubicación de los centros educativos puede resultar poco viable por lo que la prevención debería centrarse en el diseño de medidas paliativas o contramedidas que reduzcan la vulnerabilidad y eviten pérdidas humanas y económicas.

Al analizar los resultados de la Tabla 4, vemos que hay largos tramos de carreteras en riesgo por inundaciones, especialmente junto al río Paute (19 km). Sin embargo, la longitud de tramos en riesgo por movimientos de ladera es considerablemente menor (tramo más largo 4,2 km), probablemente por el hecho de que las carreteras de la cuenca del Paute suelen discurrir paralelas a los valles. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar proyectos que tomen en cuenta estos riesgos tanto para el trazado de nuevos tramos de carreteras alejados de las zonas de alto riesgo por movimientos del terreno e inundaciones, como para el diseño de contramedidas en las carreteras ya existentes.

En la elaboración del estudio se dieron ciertas limitaciones como es el caso de la obtención de la capa de información de riesgos de inundación. Un estudio hidrológico-hidráulico para cada uno de los ríos de la cuenca del Paute habría proporcionado resultados más confiables, pero habría requerido mucho más tiempo y recursos, por lo que es una labor que dejaremos para futuras investigaciones. Por otro lado, los fenómenos que comportan o implican riesgo en la cuenca del Paute no son sólo las

inundaciones torrenciales y los movimientos de laderas, y los elementos expuestos no son sólo carreteras y centros educativos. Por lo tanto, para un análisis completo del riesgo y de la vulnerabilidad habría que considerar más elementos antrópicos expuestos como centros de salud, puentes, terminales de transporte, viviendas, líneas eléctricas, etc; y otros fenómenos naturales como la sismicidad o los riesgos geotécnicos, y procesos antrópicos como excavaciones, rellenos, deforestación, tuberías o actividades agrícolas.

Los desastres naturales son muy numerosos en países como Ecuador y por ende, los riesgos que conllevan a las infraestructuras construidas. La información que proporciona este trabajo es muy necesaria para los profesionales que se encuentran a cargo de las construcciones civiles (vías y centros educativos) en el sector de la cuenca del río Paute, ya que en sus manos está evitar futuros desastres que pongan en riesgo a la población (SNGR, 2010, 2012). Es por eso que la información que brindan los mapas de riesgos y sus correspondientes tablas de atributos debe ser tomada en cuenta, al momento de ubicar, diseñar y construir cualquiera infraestructura, o para crear algún plan de prevención y evacuación ante un desastre.

AGRADECIMIENTOS

Al departamento de Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil y al departamento PROMAS de la Universidad de Cuenca.

REFERENCIAS

- Acosta, E., A. Lorente, S. Ríos, 2002. *Aplicación de un modelo regional para la predicción de áreas de peligrosidad de flujos de derrubios en el alto valle del Ésera, Pirineo Central Español*. En: XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia, Zaragoza.
- Acosta., E., 2006. Estudio geomorfológico y análisis de susceptibilidad a deslizamientos, flujos y desprendimientos en el valle de Benasque, (Pirineo de Huesca) Tesis doctoral, Instituto Geológico y Minero de España. Disponible en www.igme.es/zaragoza/tesis/E.Acosta2006.pdf.
- Almeida, E., P. Latorre, W. Tapia, 1993. *Geología del deslizamiento La Josefina*. INECEL, 7 pp.
- Almeida, E., P. Basabe, P. Ramón, C. Serrano, 1996. *Terrenos inestables en la cuenca del río Paute, Ecuador*. Convenio CSS-INECEL.
- Basabe, P., E. Almeida, P. Ramón, R. Zeas, L. Álvarez, 1996. Avance en la prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador. *Bull. Inst. fr. études andines*, 25(3), 443-458. Disponible en [http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/25\(3\)/443.pdf](http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/25(3)/443.pdf).
- Basabe, P., 1998. Cuerpo Suizo de Socorro, Dirección Nacional de Defensa Civil del Ecuador (DNDC), Municipalidad de Cuenca/ETAPA, Universidad Estatal de Cuenca, Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Concejo de Programación de Obras Emergentes de las cuencas del Río Paute y sus Afluentes: *Proyecto PRECUPA, Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute*.
- Bermeo, H. 2010. *Análisis de vulnerabilidad del Cantón Paute*. Proyecto DIPECHO VII, 57-61.
- Chamot, P., J. Studer, F. Wirz, 1993. *El deslizamiento de La Josefina en el valle del río Paute, Cuenca, Ecuador*. Consultoría de Ingeniería: Apoyo en el manejo del desastre, CSS/DHA, Berna, 130 pp.
- Fotheringham, A., C. Brunson, M. Charlton, 2000. *Quantitative geography. Perspectives on spatial data analysis*. SAGE Publications, 270 pp.
- INECEL, 1993. *Deslizamiento La Josefina, datos generales*. Informe interno del Instituto Ecuatoriano de Electrificación, INECEL, Quito, 12 pp.

- SNGR, 2010. *Planificación estratégica. Objetivos fundamentales*. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Quito, Ecuador.
- SNGR, 2012. *Sistema nacional de información de gestión de riesgos*. Sistema de información geográfica. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Quito, Ecuador.
- Zeas, R. 1993. *El deslizamiento La Josefina, tragedia nacional*. Informe interno del Instituto de Investigaciones de Ciencias Técnicas (IICT), Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.