

LA LLUVIA COMO DETONANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DEL
SECTOR OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE MANIZALES, COLOMBIA

Diego Fernando Narváez Chica¹, Jorge Julián Vélez Upegui²

¹ Geólogo, M Sc Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, IDEA

² Ingeniero Civil, Ph D. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, IDEA.

diegonch@yahoo.es ,jjvelezu@unal.edu.co

RESUMEN:

Este trabajo propone una metodología para la construcción de un mapa de susceptibilidad del terreno a movimientos en masa para ciudades montañosas ubicadas en la zona Andina Colombiana, la propuesta se basa en el uso de las principales herramientas de un Sistema de Información Geográfica SIG combinado con datos estadísticos de precipitaciones. Para lograr este objetivo se hace uso de la información obtenida de las estaciones meteorológicas que conforman la Red de Estaciones de la ciudad de Manizales, red apoyada por la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres, OMPAD, y operada por el Instituto de Estudios Ambientales, IDEA, de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Los resultados indican que incluir el efecto de la lluvia mejora la aproximación de las zonas susceptibles al deslizamiento en la zona occidental de la ciudad.

ABSTRACT:

This work proposes a methodology for the construction of a landslide susceptibility map for mountainous cities located in the Colombian Andes, the proposal is based on the use of the main tools of Geographical Information System GIS combined with statistical data of precipitations. In order to accomplish this goal, it was necessary to use the information recorded at the meteorological network available in the city of Manizales, which was implemented in Manizales with the support of the Prevention and Disaster Relief Office (PDRO) and actually is operated by the Institute of Environmental Studies, IDEA, of the National University of Colombia headquarters Manizales. The results indicate that including the effect of rainfall improves the approximation of the areas susceptible to landslides in the west part of the city.

PALABRAS CLAVES:

Movimientos en masa, Sistema de Información Geográfica, precipitaciones

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la escasez de terrenos con pendientes aptas para urbanización en Manizales ha llevado a los constructores a “invadir” laderas de alta pendiente, con resultados nefastos, como la destrucción de ecosistemas y el aumento de riesgos por deslizamiento; situación que se viene presentando desde la década de los 60's, como consecuencia de la ausencia de obras civiles de estabilización e infraestructura urbana en el área. A partir de la década de los 70's y con la consecuente proyección y ejecución de obras civiles y de infraestructura, el porcentaje de deslizamientos se reduce drásticamente. Finalmente, a partir de los 80's se presenta un nuevo incremento de la actividad denudativa, así como de deslizamientos leves y menores, compatible con la mejor calidad de los registros, el aumento de la presión urbanística (poblamiento de laderas de fuerte pendiente) y el deterioro de las obras civiles construidas (ausencia de mantenimiento). El anterior panorama y las condiciones climatológicas observadas recientemente, permite inferir para la zona occidental de la ciudad de Manizales, una estrecha relación entre la lluvia y los deslizamientos.

Este trabajo pretende establecer la relación existente entre las lluvias y la ocurrencia de movimientos en masa, en un sector específico de la ciudad de Manizales, que corresponde a las Comunas Atardeceres (antes Comuna 1) y La Macarena (antes Comuna 11) localizadas en el extremo occidental de la ciudad, cuyas características de precipitación la ubican como la zona que presenta los más altos niveles de precipitación de acuerdo con los registros históricos de lluvias. Esta condición, así como sus rasgos morfométricos hicieron de este sitio un importante laboratorio de análisis para este estudio.

Vale la pena destacar que por las características fisiográficas y localización, así como por el importante número de población ubicada en este sector, el área de estudio seleccionada (Comunas Atardeceres y La Macarena) reviste gran interés porque allí se han presentado numerosos episodios de deslizamiento y se trata de una zona lluviosa de montaña típica de los Andes Colombianos.

El objeto es establecer la relación que existe entre las lluvias y los deslizamientos en el sector occidental de la ciudad de Manizales, correspondiente a las comunas Atardeceres y La Macarena, a través de la caracterización de la zona y el análisis estadístico de datos de precipitaciones. Para lo cual se realiza la caracterización geológica y geomorfológica de la zona de estudio, se propone una zonificación la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa a través de la utilización del Sistema de Información Geográfica Arc GIS, luego se efectúa un análisis estadístico de los datos de lluvia para las estaciones localizadas en el área de influencia, utilizando la red de estaciones del convenio OMPAD (Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres) - Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, IDEA y finalmente se determina si el elemento detonante en la ocurrencia de los deslizamientos en el área de estudio es la lluvia.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en desarrollo del presente trabajo se fundamentó en primer lugar en la recopilación, revisión y análisis de la información secundaria, de manera simultánea se realizó el trabajo de campo que consistió en la toma de datos y muestras para la construcción de los mapas temáticos. A través de los resultados obtenidos en estas etapas se pudo lograr la caracterización de la zona de estudio y se llevó a cabo el análisis estadístico de datos de lluvia.

En el desarrollo de este trabajo se construye un marco teórico ligado a la temática de los estudios ambientales urbanos, en el cual se consignan definiciones básicas y se analizan algunos antecedentes de investigación, entre los que es importante destacar los estudios de Pando et al.,

(2003) en el que establecen una metodología para la definición de un umbral de lluvia en Puerto Rico, y de Mayorga (2003) quien a nivel de Colombia desarrolla una investigación en la que relaciona la lluvia con los deslizamientos, aportando una metodología con fines de pronóstico que permite predecir la ocurrencia de un deslizamiento en el territorio nacional, con base en datos meteorológicos. A nivel local, el estudio realizado por Terlien (1996) en el que involucra el tema de las lluvias como generadoras de deslizamientos en un sector de la ciudad de Manizales; igualmente, el estudio realizado por Arango (2000) es otro importante insumo en el desarrollo de este tema de investigación.

Una vez realizada la caracterización de la zona de estudio, desde el punto de vista geológico y geomorfológico, cuyo resultado es la generación de 6 mapas temáticos:

-Mapa No. 1, geológico estructural (incluye corredores de falla)

-Mapa No. 2, de formaciones superficiales

-Mapa No. 3, de materiales geotécnicos

-Mapa No. 4, de pendientes

-Mapa No. 5, uso actual del suelo

-Mapa No. 6, de unidades geomorfológicas

Se construyó además el mapa No. 7, que corresponde a la ubicación espacial de los movimientos en masa que han tenido lugar en el sector en los últimos años. De manera simultánea a partir del análisis estadístico realizado sobre los datos de precipitaciones se construyeron Mapas de isoyetas para períodos lluviosos y secos con el objeto de establecer la zona de mayores precipitaciones en la ciudad de Manizales, las cuales arrojan como zona más lluviosas de la ciudad de Manizales al Sector occidental.

Para definir el efecto de la lluvia como elemento detonante en la ocurrencia de movimientos en masa, se realiza un análisis estadístico de datos de lluvia correspondientes a 10 estaciones; tres de ellas pluviométricas, Agronomía, Uribe y Marmato; 7 de ellas pluviométricas electrónicas EMAS, Postgrados, Ingeominas, El Carmen, Aranjuez, La Palma y Bosques del Norte. Estas últimas hacen parte del proyecto Red de Estaciones Meteorológicas de la OMPAD (Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres) – Universidad Nacional sede Manizales. La utilización de dos tipos de información confiere a los datos utilizados un carácter de heterogeneidad tanto es sus registros, como en las fechas que abarcan. Sin embargo, esta investigación pretende demostrar la utilidad de la información.

Con la información obtenida en la etapa de caracterización se realizó la propuesta para la construcción del mapa de susceptibilidad del terreno por movimientos en masa utilizando el método heurístico a través de la experiencia de un experto, el cual consistió en valorar cada una de las temáticas que conforman los mapas en un rango de 1 a 5, donde el valor 1 corresponde a aquellos elementos que tiene más baja incidencia en la inestabilidad del terreno y 5 el valor de mayor incidencia en la inestabilidad del terreno. A partir de esta valoración se obtuvo el mapa de susceptibilidad del terreno con siete clasificaciones que van desde muy baja susceptibilidad hasta muy alta susceptibilidad, las cuales son representadas en una escala de colores de verde a rojo, donde verde es la susceptibilidad más baja y rojo la susceptibilidad más alta, imitando el sistema del semáforo, Desenredando (2010).

Este primer mapa obtenido se compara con el mapa de movimientos en masa con el fin de establecer el porcentaje de coincidencia entre las zonas de susceptibilidad y la presencia real de movimientos en masa. Con el fin de establecer el elemento detonante de movimientos en masa se involucra el componente lluvia al mapa de susceptibilidad obtenido, a través de la construcción de dos mapas que grafican la probabilidad de exceder los umbrales 200 mm para el indicador de lluvia antecedente de 25 días A25 (Terlien, 1996) y 250 mm para el indicador de lluvias con suavización exponencial E95 (Arango, 2000), denominados mapas de isoprobabilidad. Estos dos mapas son cruzados de manera independiente con el mapa inicial, otorgando una escala de valores de peso que va de 1 a 5, en donde 1 corresponde al valor de probabilidad más bajo y 5 el valor de probabilidad más alto. Es importante mencionar que estos valores fueron seleccionados debido a que el umbral 200 del indicador A25 es el valor utilizado por la OMPAD, a partir del cual se establecen los niveles de alerta en época de lluvias, y el umbral 250 del indicador E95, aparece como uno de los mejores resultados obtenidos en el trabajo de Arango.

Los resultados obtenidos permiten establecer que existe una clara relación entre el mapa de susceptibilidad obtenido a través de la metodología heurística propuesta y el mapa de susceptibilidad que involucra datos de lluvia antecedente para el indicador de 25 días y para el indicador con suavización exponencial E95.

La comparación de estas diferentes propuestas permite validar el resultado obtenido, que se espera sea un instrumento útil de aplicación general para determinar la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa con énfasis en el tema de las lluvias, tema este en el cual se han alcanzado grandes avances en la ciudad de Manizales, a través del desarrollo de proyectos como el de la Red de Estaciones Meteorológicas convenio OMPAD - Universidad Nacional de Colombia- Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, de la ciudad de Manizales (Mejía et al., 2005).

En la búsqueda de la sostenibilidad, los estudios encaminados a establecer las causas de fenómenos que afectan de manera directa las ciudades como construcción urbana del hombre, constituyen una herramienta primordial en el tema de la gestión de riesgos; de allí parte la importancia del presente proyecto que pretende, a partir de datos obtenidos en campo y recopilación de información primaria, determinar la relación entre los movimientos en masa y las precipitaciones ocurridas.

Este proyecto de investigación pretende, así mismo, establecer la relación existente entre las lluvias y la ocurrencia de movimientos en masa en un sector específico de la ciudad de Manizales, que corresponde a las Comunas Atardeceres (antes Comuna 1) y La Macarena (antes Comuna 11) localizadas en el extremo occidental de la ciudad cuyas características de precipitación la ubican como la zona que presenta los más altos niveles de precipitación de acuerdo con los registros históricos de lluvias que se analizan en este estudio. Esta condición, así como sus rasgos morfológicos, hicieron de este sitio un importante laboratorio de análisis para el estudio que se desarrolla. De igual forma, se pretende generar desde el punto de vista académico un aporte a la investigación sobre la relación que se da entre la lluvia y los deslizamientos, con la inclusión de un sistema de información geográfica, en este caso el sistema Arc GIS. La utilización de la importante herramienta que constituyen los sistemas de información geográfica, en este caso el sistema Arc GIS, permite el desarrollo de metodologías que integran información de campo y datos estadísticos.

Partiendo de la base que en la ciudad de Manizales un alto número de fenómenos de remoción en masa está relacionado con la lluvia, y que esta se constituye generalmente en el factor desencadenante de los movimientos en masa, asociada a características propias del sitio donde estos ocurren como son: la geología, la geomorfología, la pendiente, el uso del suelo, entre otros, resulta de gran interés establecer para el sector occidental de la ciudad de Manizales, la influencia que han

tenido las precipitaciones sobre los deslizamientos que han afectado este sector, además de realizar una caracterización de las lluvias que se presentan en esta zona de la ciudad.

La utilización de una metodología actual, enmarcada en la existencia de la información de lluvias obtenida a través de la Red de Estaciones meteorológicas del convenio OMPAD- Universidad Nacional de Colombia Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, justifica de manera considerable la realización de este proyecto. De otra parte, la importancia que el estudio de los agentes desencadenantes de deslizamientos tiene para la ciudad de Manizales, hace relevante el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta que en la actualidad la utilización de alertas ante precipitaciones a través de un umbral de lluvia acumulada ha contribuido a prevenir el riesgo y evitar la pérdida de vidas humanas.

Otro punto de interés es determinar la relación existente entre los fenómenos del Niño y de la Niña y la ocurrencia de movimientos en masa en la ciudad de Manizales; basándose en la información recopilada y disponible se observa de manera preliminar que no existe una relación directa entre la ocurrencia de movimientos en masa en la zona de estudio y los años en los que se ha presentado el fenómeno del Niño o de la Niña, ya que sólo en el 25% de los años analizados (12 en total) se presenta coincidencia entre años Niño y años con alto número de movimientos en masa; en el caso del fenómeno de la Niña, la coincidencia es del 16.7%. Es necesario sin embargo adelantar un estudio más detallado que permita comparar más datos para obtener resultados más contundentes.

El cruce de los mapas obtenidos permitió la realización de tres propuestas para definir la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa, una de ellas no considera valores de lluvia y las dos restantes involucraron en su análisis la lluvia con el objeto de definir el elemento detonante en la ocurrencia de movimientos en masa.

Las tres propuestas corresponden a:

- Propuesta 1: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, sin considerar la influencia de la lluvia, tal como se muestra en la Figura 1.
- Propuesta 2: Mapa de susceptibilidad utilizando el indicador A25, que corresponde a la lluvia acumulada de 25 días, tal como se aprecia en la Figura 2.
- Propuesta 3: Mapa de susceptibilidad utilizando el indicador con suavización exponencial E95, tal como se aprecia en la Figura 3.

Con el objeto de establecer cual de estas propuestas mostraba los mejores resultados se realizó el cruce de información con el mapa de movimientos en masa, a través del SIG, estableciendo porcentajes de coincidencia entre los rangos de susceptibilidad más altos y la localización de los movimientos en masa y se comparan los resultados. La Figura 4 ilustra la metodología utilizada.

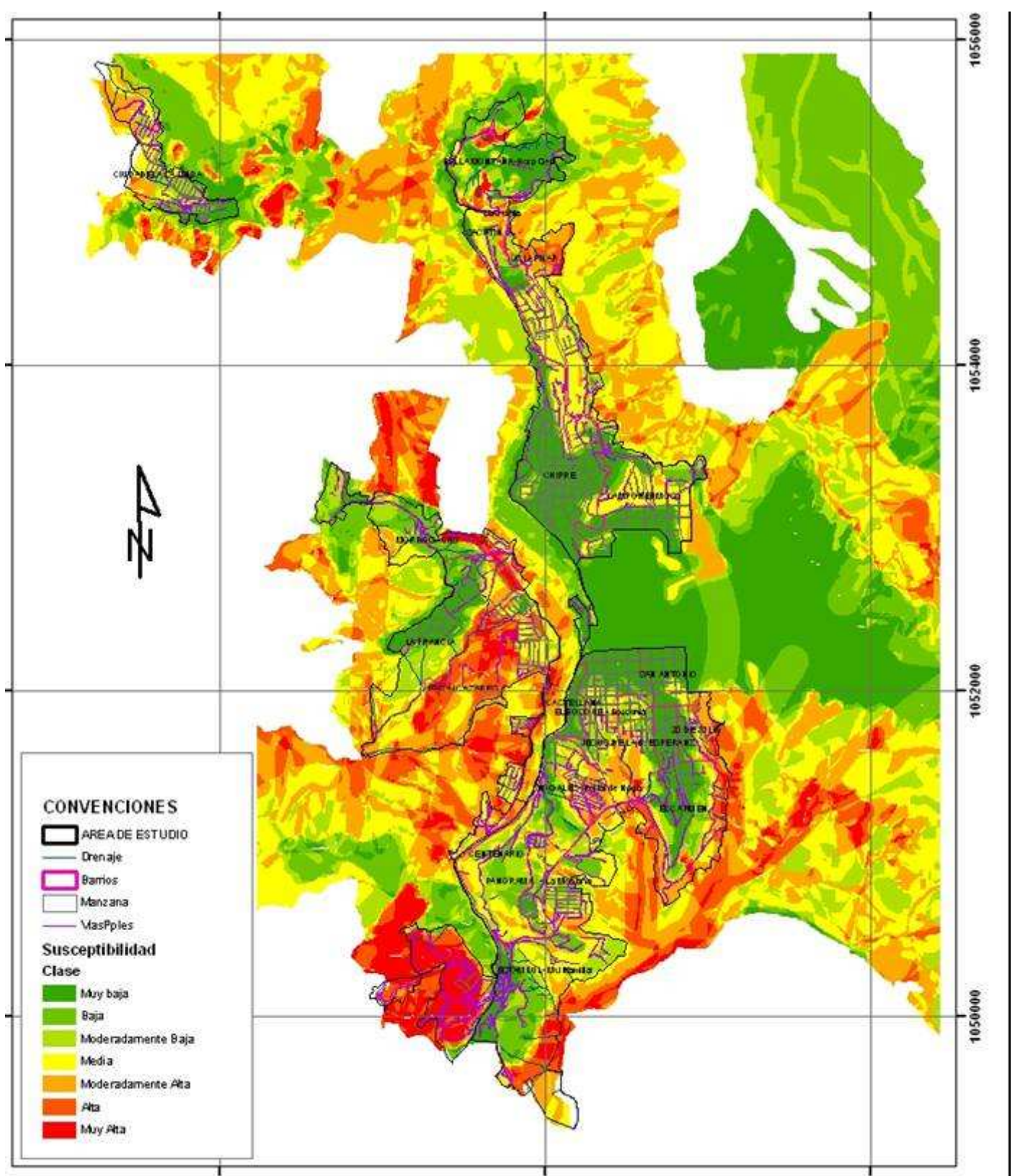


Figura 1.- Mapa No. 8, mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, sin considerar la influencia de la lluvia.

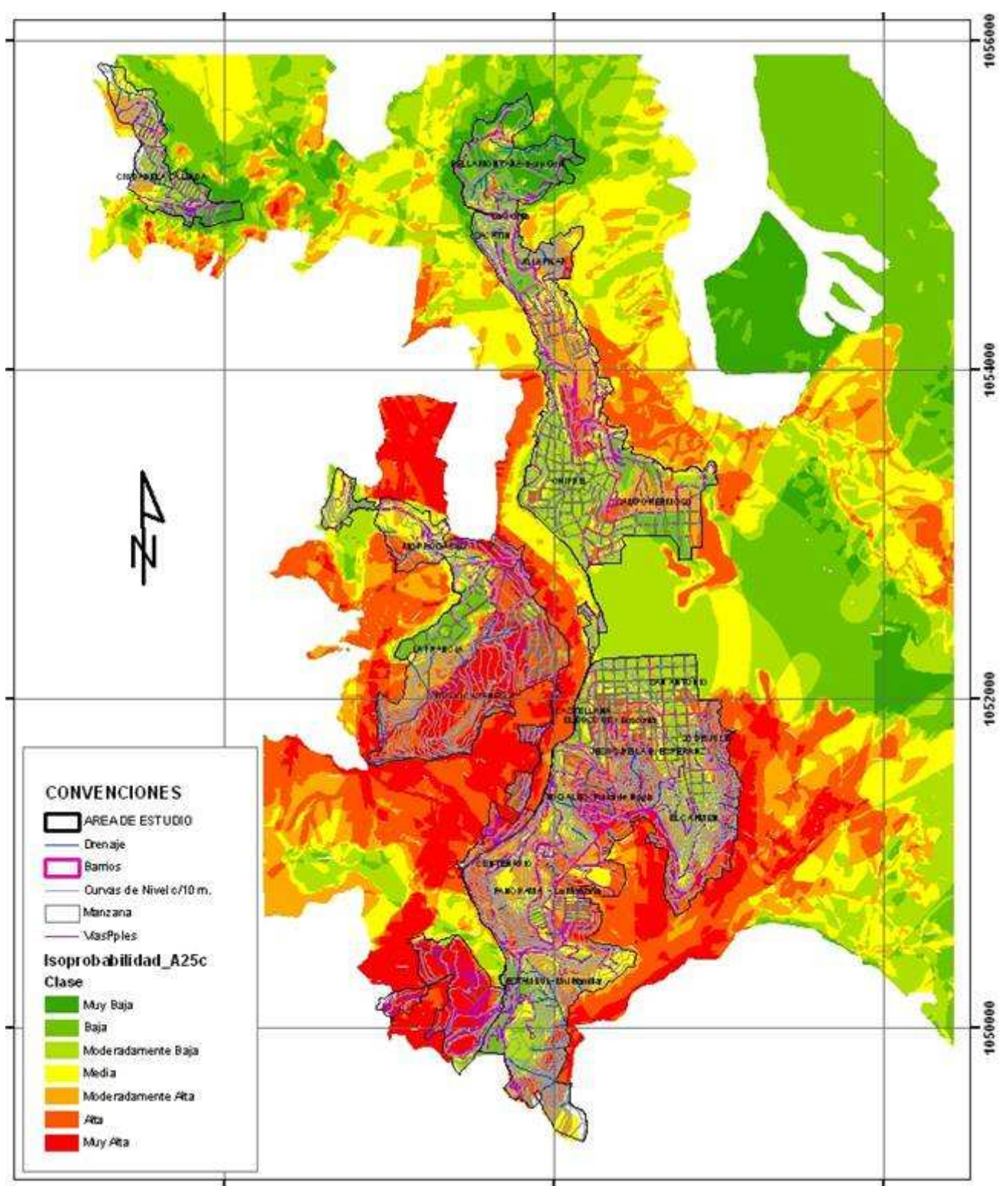


Figura 2.- Mapa No. 12, mapa de susceptibilidad utilizando el indicador A25, que corresponde a la lluvia acumulada de 25 días

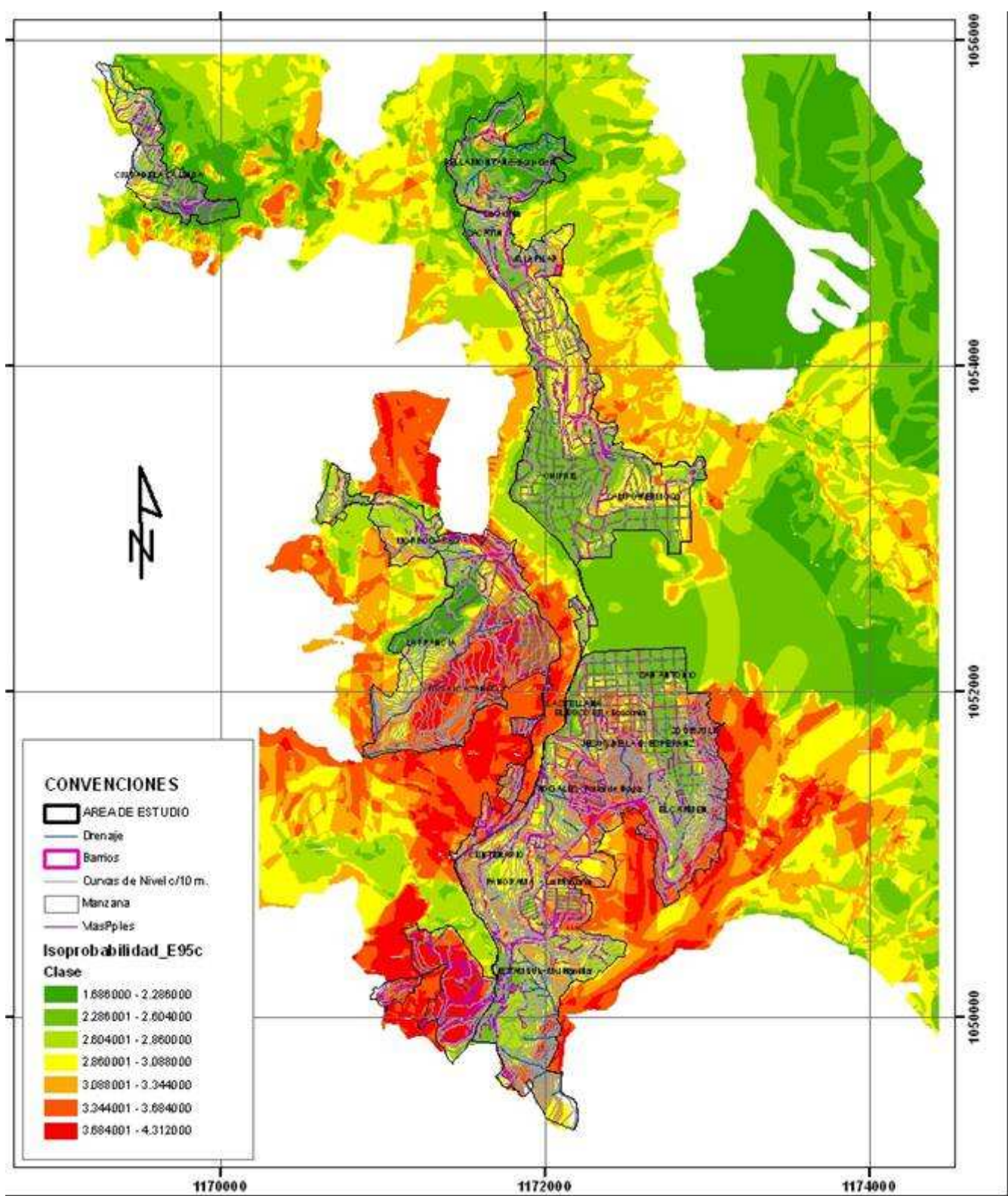


Figura 3.- Mapa de susceptibilidad utilizando el indicador con suavización exponencial E95.

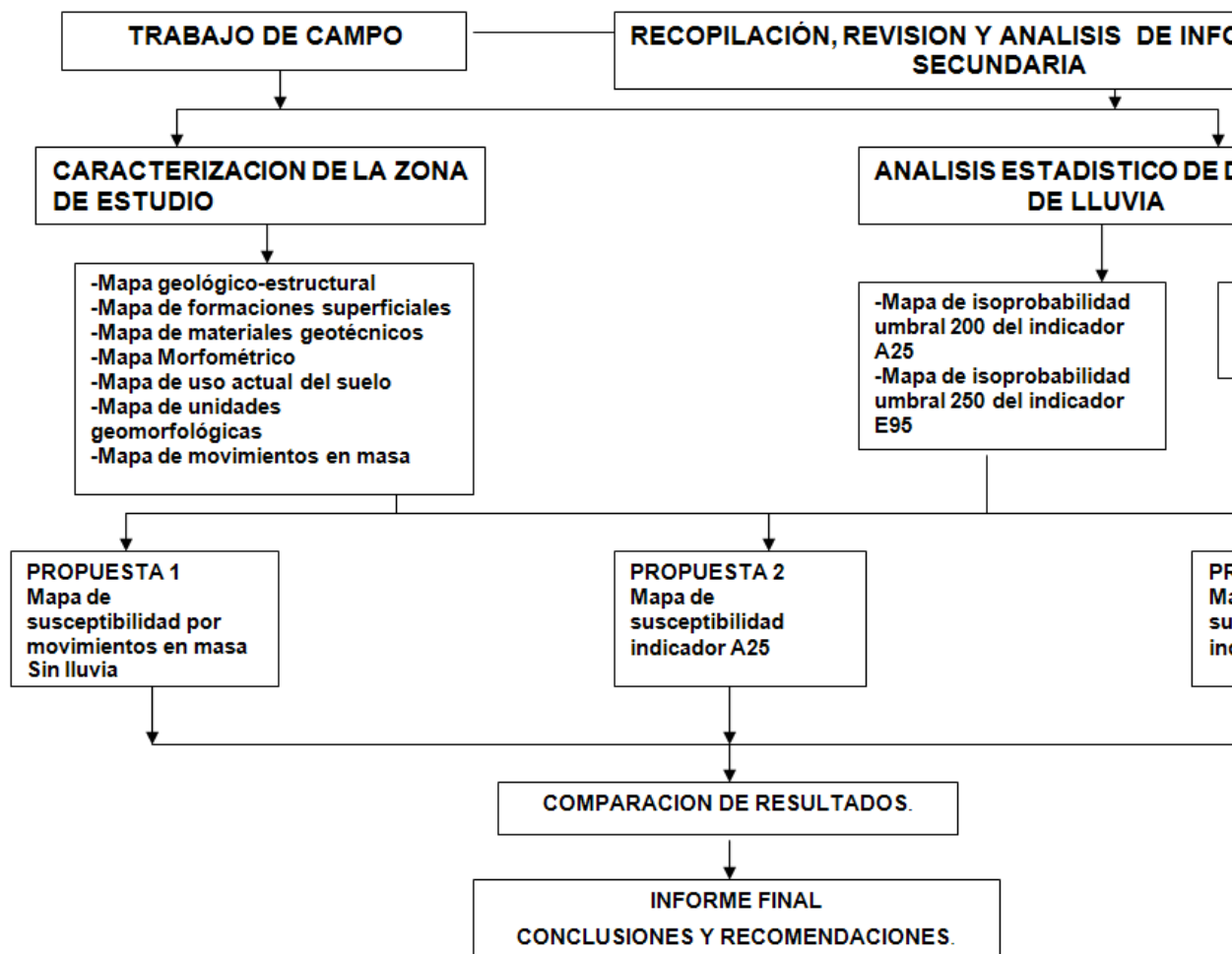


Figura 4.- Propuesta metodológica para la creación de mapas de susceptibilidad al deslizamiento en zonas montañosas

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los análisis efectuados, teniendo en cuenta que el resultado final es un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa para el sector occidental de la ciudad de Manizales (comunas Atardeceres y La Macarena). Este mapa se comparó con el mapa que localiza los movimientos en masa registrados en este sector en el período 2000-2006, esperando con ello determinar la coincidencia entre los movimientos en masa y las clases de susceptibilidad obtenidas a través de la metodología propuesta. La tabla muestra, además, el resultado logrado al realizar la comparación con el mapa de susceptibilidad que adiciona la variable de precipitación tanto para el indicador de lluvias antecedentes A25 (Terlien, 1996), como para el indicador con suavización exponencial E95 (Arango, 2000).

Tabla 1.- Resultado de la comparación de los mapas de susceptibilidad obtenidos con el porcentaje de coincidencia de los movimientos en masa.

CLASE	SUSCEPTIBILIDAD PROPUESTA	SUSCEPTIBILIDAD CON INDICADOR DE LLUVIAS A25	SUSCEPTIBILIDAD CON INDICADOR DE LLUVIAS E95
SUSCEPTIBILIDAD MUY BAJA	8	4	9
SUSCEPTIBILIDAD BAJA	17	13	15
SUSCEPTIBILIDAD MODERADAMENTE BAJA	13	15	16
SUSCEPTIBILIDAD MEDIA	21	18	17
SUSCEPTIBILIDAD MODERADAMENTE ALTA	17	19	21
SUSCEPTIBILIDAD ALTA	16	22	15
SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA	8	10	7

En la Tabla 1 se aprecia que en el primer caso (Susceptibilidad propuesta) se observa que los mayores porcentajes de coincidencia entre las clases de susceptibilidad y los movimientos en masa se tienen para la susceptibilidad media (21%) y la susceptibilidad moderadamente alta (17%). El valor más bajo se presenta tanto para la susceptibilidad muy baja como para la susceptibilidad muy alta con un valor de 8%. En el segundo caso (Susceptibilidad con indicador A25) se observa como los valores más altos de coincidencia son para el rango de susceptibilidad alta (22%) y la susceptibilidad moderadamente alta (20%). El valor más bajo se presenta en el rango de susceptibilidad muy baja (4%). En el tercer caso (Susceptibilidad con indicador E95) los valores más altos de coincidencia son para la susceptibilidad moderadamente alta (21%) y la susceptibilidad media (17%). El valor más bajo se presenta en el rango de susceptibilidad muy alta (7%).

La observación de los resultados obtenidos permite concluir que se da una buena relación en el caso de las tres situaciones analizadas, con especial correspondencia entre el mapa de susceptibilidad propuesto y el mapa de susceptibilidad con el indicador de lluvias antecedentes de 25 días A25. Lo anterior indica que la utilización de la variable A25 otorga mayor confiabilidad a la aplicación del modelo propuesto.

CONCLUSIONES

La caracterización de la zona de estudio, realizada mediante los mapas temáticos: mapa geológico estructural, mapa de pendientes, mapa geomorfológico, mapa de formaciones superficiales, mapa de materiales geotécnicos y mapa de uso del suelo, se convierten en la base para determinar la zonificación de la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa con la ayuda del sistema de información geográfica ArcGIS, lo cual arroja como resultado el mapa de susceptibilidad propuesto, sin el efecto de la lluvia. Por lo que de manera general se puede concluir que la combinación entre el conocimiento obtenido a través de la experiencia (método heurístico) y la utilización de un sistema de información geográfica se convierten en un complemento de gran importancia para determinar la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa.

Uno de los mayores obstáculos que se encuentran en este tipo de investigaciones lo constituye el hecho de que los movimientos en masa son generalmente procesos aislados que no son muy grandes en tamaño, pero que suelen ocurrir con mucha frecuencia en una región y tener cada uno características diferentes, lo que dificulta el análisis unificado que se pueda hacer a una serie de movimientos en masa. De otra parte, la ausencia de una base de datos integrada, actualizada y actualizable constituye un obstáculo para el desarrollo de este tipo de investigaciones.

La existencia en la ciudad de Manizales de una Red de Estaciones Meteorológicas permitió en el desarrollo de este proyecto la respuesta a interrogantes como cuál es el sector con mayores valores de precipitación en la ciudad de Manizales. En este orden de ideas la Red de Estaciones se constituye en un elemento de gran valor para esta y futuras investigaciones.

No se observa una relación directa entre la ocurrencia de deslizamientos en la ciudad de Manizales y el fenómeno del Niño o de La Niña.

Con el objeto de definir si la lluvia se constituía en el elemento detonante de los movimientos en masa para la zona de estudio se efectuó el análisis estadístico de datos de lluvia con datos de precipitación de las estaciones localizadas en el área de influencia, insumo con el cual se obtuvieron datos de probabilidad para dos indicadores de lluvia antecedente el A25 (Terlien, 1996) y E95 (Arango, 2000) los que permitieron establecer la relación lluvia-movimientos en masa.

Con el fin de definir el peso adecuado de cada uno de los mapas al realizar el cruce de los mismos, se sugiere en proyectos futuros aplicar técnicas de optimización avanzada, lo cual permite obtener el conjunto de pesos óptimo para mejorar los resultados.

La difusión de este tipo de investigaciones, permitirá la interacción de diferentes investigadores lo cual redundará en el mejoramiento y aprovechamiento de la información y en la toma de decisiones adecuadas, que permitan en esencia realizar una adecuada prevención de desastres. Para lograr lo anterior se requiere la interacción y coordinación institucional, que unifique políticas y permita el desarrollo de proyectos futuros relacionados con el tema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres, *OMPAD* de la ciudad de Manizales y al Instituto de Estudios Ambientales, *IDEA* de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

REFERENCIAS

- Arango G., J. D. (2000), "Relaciones Lluvias – Deslizamientos y Zonificación Geotécnica en la comuna 2 de la ciudad de Manizales". Especialización en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia – Facultad Nacional de Minas Medellín.
- Desenredando. (2010) Predicciones, Pronósticos, Alertas y Respuestas Sociales. Revista semestral de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Desastres y Sociedad. Special edition: January-June 1996 / No.6 / Year 4. [online]. Manizales. < <http://www.desenredando.org>> [Consulted: 31/05/2010].
- Mayorga M., Ruth (2003). Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Tesis de Maestría en Meteorología. Universidad Nacional de Colombia- Departamento de Geociencias. Bogotá.
- Mejía, F., Chardon, A.C., Londoño, J.P., and Estrada, J.H. (2005). Zonificación de riesgos por deslizamientos en áreas urbanas andinas. (Landslide risk zonation in the Andes urban areas) Report for the National University of Colombia, Manizales, Colombia. [online]. Manizales. <<http://www.manizales.unal.edu.co/idea>> [Consulted: 15/04/2010].
- Pando M. A., Ruiz M. E. y Larsen M. C. (2003). Deslizamientos en puerto rico producidos por lluvias: descripción general. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 4(1) 53 Puerto Rico.
- Soeters R, Van Westen C.J. (1996) Slope instability recognition, análisis and zonation. In Turner A. K., Shusters R. L. (eds) Landslides, investigation and mitigation Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington, USA, pp 129-177
- Terlien, Mark Theodoor Johanness (1996). Modelling spatial and temporal variations in rainfall – triggered landslides. Enschede (Holanda), 254 p.