



Terra. Nueva Etapa  
ISSN: 1012-7089  
ISSN: 2542-3266  
vidal.saezsaez@gmail.com  
Universidad Central de Venezuela  
Venezuela

# EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS ACTIVADOS POR LLUVIAS. CASO ESTUDIO: BARRIOS INFORMALES DE MAMERA - EL JUNQUITO

**Padrón Chacón, Carlos Alberto**

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS ACTIVADOS POR LLUVIAS. CASO ESTUDIO: BARRIOS INFORMALES DE MAMERA - EL JUNQUITO

Terra. Nueva Etapa, vol. XXXV, núm. 57, 2019

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

**Disponible en:** <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72163802004>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

ARTÍCULOS

# EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS ACTIVADOS POR LLUVIAS. CASO ESTUDIO: BARRIOS INFORMALES DE MAMERA - EL JUNQUITO

DISASTER RISK ASSESSMENT CAUSED BY RAIN-  
TRIGGERED LANDSLIDES. CASE STUDY: SLUMS OF  
MAMERA-EL JUNQUITO

Carlos Alberto Padrón Chacón \*  
carlospadron2502@gmail.com

*Universidad Central de Venezuela, Venezuela*

Terra. Nueva Etapa, vol. XXXV, núm.  
57, 2019

Universidad Central de Venezuela,  
Venezuela

Redalyc: [http://www.redalyc.org/  
articulo.oa?id=72163802004](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72163802004)

CC BY-NC-ND

**Resumen:** Muchas investigaciones sobre deslizamientos se han escrito en la actualidad para tratar de explicar los procesos que los originan, los factores detonantes y sus implicaciones en la sociedad. Se han hecho esfuerzos desde distintas áreas de la investigación para precisar hasta qué punto se puede reducir el riesgo ante la aparición de estos eventos. Pese a los grandes esfuerzos, surgen inquietudes aun de cómo y cuándo abordar las zonas expuestas, con el fin de evitar daños a las personas y bienes. Este trabajo plantea la inquietud y la necesidad urgente de orientar técnicamente soluciones a la problemática relacionada con las zonas urbanas populares expuestas a deslizamientos, para su posible rehabilitación y transformación del hábitat desde la gestión del riesgo de desastres. Se espera que la investigación sirva de base para otros trabajos en la elaboración de planes de ordenamiento territorial y distribución del espacio de forma integral e incluyente, así como para el desarrollo de comunidades fortalecidas en los barrios populares de montaña.

**Palabras clave:** Riesgo, desastre, deslizamientos, lluvias, gestión.

**Abstract:** Many investigations on landslides have emerged today to try to explain the processes that originate them, the detonating factors and their implications in society. Efforts have been made from different areas of research to determine to what extent the risk can be reduced in the face of the appearance of these events. Despite the great efforts, there are still concerns about how and when to approach the exposed areas in order to avoid damage to people and property. This work raises the concern and the urgent need to technically guide solutions to the problems related to urban areas exposed to landslides, for their possible rehabilitation and habitat transformation from disaster risk management. It is hoped that the research will serve as a basis for other works in the elaboration of territorial planning plans and the distribution of space in an integral and inclusive manner, as well as for the development of strengthened communities in popular mountain slums.

**Keywords:** Risk, disaster, landslides, rainfall, management.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha hecho común ver en las noticias nacionales afectaciones de personas, bienes y servicios por la ocurrencia de deslizamientos activados por lluvias en zonas de montaña.

Datos reportados por el Grupo de Investigación sobre Espacio Público de la Universidad de Los Andes (GISEP, 2012) y el Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz (MPPRIJP, 2014), indican que las ciudades venezolanas ubicadas en zonas de montaña tienen alrededor de 31% de la población expuesta a deslizamientos derivados de lluvias torrenciales o extremas, en niveles de amenaza media y alta según los sitios de emplazamiento.

En cuanto a la incidencia, hasta el año 2012, el MPPRIJP (2014) reporta registros de 1.460 eventos en todo el territorio venezolano, en los que sobresalen los estados Miranda (municipios Baruta, El Hatillo, Plaza), Distrito Capital (municipio Libertador), Vargas, Táchira (municipios San Cristóbal, Junín, Libertador, Torbes), y Mérida (municipios Campo Elías, Pinto Salinas, Sucre, Libertador, Cardenal Quintero); siendo los deslizamientos la tercera amenaza en orden de importancia a nivel nacional.

El GISEP (2012) indica que la sostenibilidad en estas áreas está fuertemente condicionadas por los elementos físico-ambientales, como la capacidad de carga de sus terrenos (condición geotécnica, soporte del substrato geológico y dinámica erosiva de las formas de relieve), la regularidad del comportamiento de elementos del clima como la cantidad y duración de las lluvias, humedad atmosférica y las variaciones diaria e interdiaria de las temperaturas. También, dadas las condiciones de vulnerabilidad física de las infraestructuras de vivienda y los equipamientos; la dinámica económica y social asociada a factores de accesibilidad y regularidad en la prestación de servicios; las condiciones sociales asociadas a áreas geográficas de localización de la pobreza y, no menos importante, la atención gubernamental de los problemas más sentidos de la población.

Lo anterior supone una cierta claridad de las posibles causas en la generación de esta amenaza y las condiciones de vulnerabilidad que prevalecen en zonas de montaña, sin embargo, parecen insuficientes las estrategias aplicadas para la reducción y gestión del riesgo de desastres.

Aún más significativo, llama la atención que en los mismos informes oficiales publicados por el Estado venezolano, específicamente, por el Ministerio del Poder Popular para las Relaciones Interiores, Justicia y Paz, señala entre tantas debilidades, la *“escasa consideración del riesgo en los procesos de planificación territorial y urbana”* (MPPRIJP, 2014, p.35), situación que llama a la reflexión de visión país sobre el tema.

Es así como las políticas sobre gestión del riesgo de desastres reclaman una mayor sensibilización para el desarrollo estratégico del territorio, desde una visión transversal, integradora y participativa en todos los niveles de la sociedad, más allá de la retórica de los discursos. En tal sentido, se propone una metodología para evaluar los deslizamientos en

zonas de barrios autoproducidos a partir una visión integral, con un enfoque prospectivo y correctivo en la Gestión del Riesgo de Desastres, para la protección de la vida e integridad de la población, sus bienes y los del Estado, contribuyendo al desarrollo sostenible del país, emulando lo esperado por el informe del MPPRIJP (2014).

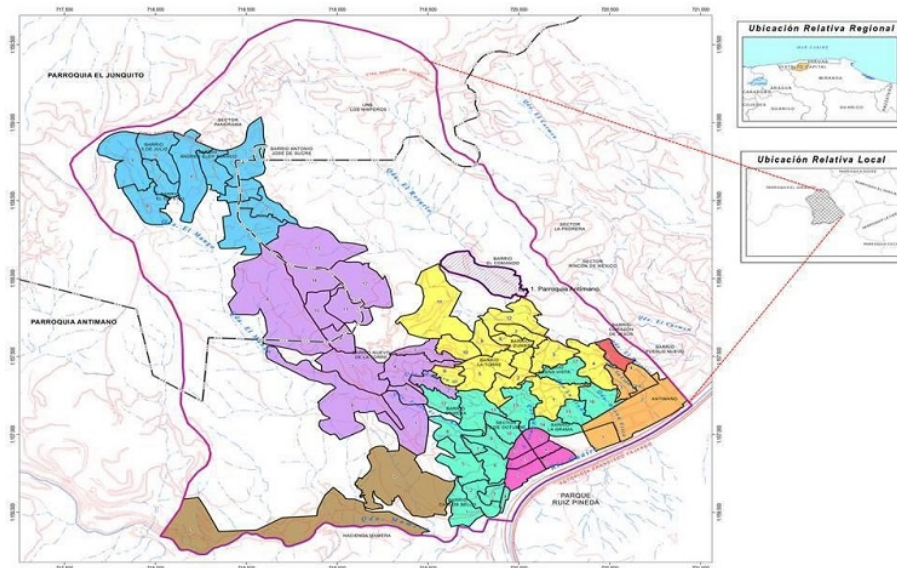
## METODOLOGÍA

El trabajo se enfocó en relacionar las variables que definen el riesgo de desastres apoyado con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente, la amenaza por deslizamientos, la vulnerabilidad física y la exposición de las edificaciones de uso residencial, para el análisis y evaluación del riesgo de desastres por deslizamientos activados por lluvia, con fines de aprovechamiento, planificación y gestión urbana en el ámbito urbano de la subcuenca Mamera, ubicada entre las parroquias Antímamo y El Junquito, jurisdicción del Municipio Bolivariano Libertador del Distrito Capital.

### *Identificación y delimitación del área de estudio*

Se realizó una delimitación del área de estudio tomando criterios geográficos conforme a unidades territoriales homogéneas (cuencas hidrográficas) según Sandoval (2014). Este tipo de delimitación geográfica permitió la interpretación detallada de los aspectos físico # naturales y antrópicos que inciden en la geodinámica externa del terreno (Gaspari *et al.*, 2013). Por otro lado, permitió cuantificar la población expuesta, según datos del IMGRAD (2015), así como las distintas edificaciones o estructuras presentes en cada territorio.

De acuerdo a la delimitación territorial, definida bajo el criterio de unidad territorial homogénea, se obtuvo un área de 672,59 hectáreas, donde existen, según el IMGRAD (2015), un total de 10.346 edificaciones de uso residencial y habitan 70.695 personas, distribuidas en 17.683 familias. Desde el punto de vista organizativo comunitario, en la zona urbana de la subcuenca Mamera (figura 1) se encuentran activas siete (7) comunas, y se han conformado 66 organizaciones comunitarias (Consejos Comunales, Comité de Tierra Urbana).



**Figura 1**  
Área de estudio y distribución espacial de las organizaciones sociales.  
Fuente: Padrón (2017).

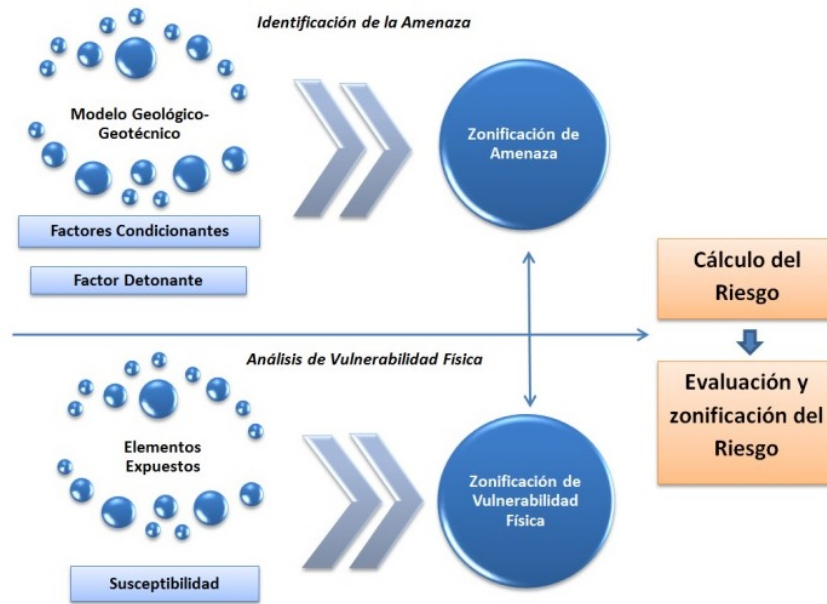
### *Información cartográfica base*

Se utilizó la información planimétrica en formato *shape file* (.shp) a escala 1:2.500, elaborada por la Oficina Técnica Nacional para la Regularización y Tenencia de la Tierra Urbana del año 2006; así como fotoplanos de la ciudad de Caracas de los años 2010 y 2011 realizados por el Gobierno del Distrito Capital. De igual manera, se consultaron imágenes satelitales de ESRI del año 2016 y otros años disponibles en la aplicación.

Los criterios tomados en cada mapa estuvieron basados en la documentación oficial emitida por organismos gubernamentales con competencia en cada área temática. El procesamiento de los datos fue mejorado y ajustado mediante las herramientas de geoprocésamiento que dispone el *software* ArcGIS 10.1.

## **EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS**

La evaluación del riesgo de desastres por deslizamientos se trató mediante un enfoque sistémico (figura 2). Se entiende de este modo, que el enfoque sistémico para la evaluación del riesgo de desastres por deslizamiento, representa un momento determinado y constituido por un conjunto de actividades realizadas secuencialmente (que pueden cambiarse y adaptarse en el tiempo); además concatenadas en un orden lógico que responden en forma conjunta para lograr un fin común (Narváez *et al.*, 2009).



**Figura 2**

Esquema metodológico para la evaluación del riesgo de desastres por deslizamientos.

Fuente: Padrón (2017).

Para la identificación y evaluación de la amenaza por deslizamientos, se adoptó el método propuesto por Mora-Varhson-Mora (1992), con variaciones a partir de los trabajos realizados por Valleé (2006) y Sánchez y Urego (2011). En cuanto al análisis de la vulnerabilidad física y elementos expuestos, se adoptó la metodología propuesta por Padrón (2015), con ajustes de la base de datos suministrada por el Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD) de las viviendas evaluadas y especializadas durante el año 2013. En la figura 2, se presenta un esquema general para la evaluación del riesgo de desastres aplicado en la investigación.

#### *Identificación y evaluación de la amenaza por deslizamientos*

La evaluación de la amenaza se realizó, primero, zonificando la susceptibilidad (laderas inestables) a partir de los factores condicionantes o aquellas causas que propician la ocurrencia de los deslizamientos. La zonificación de la susceptibilidad por deslizamientos se fundamentó en el trabajo realizado por Mora-Varhson-Mora (1992), y la adaptación del trabajo realizado por Sánchez y Urego (2011). Por cuanto, la obtención de la susceptibilidad se apoya en los parámetros que define la siguiente ecuación:

$$S_{usc} = S_{gg} + S_{geo} + S_{us} \quad (1)$$

Donde:

$S_{usc}$ : susceptibilidad a deslizamientos.

$S_{gg}$ : Susceptibilidad dada por factores geológicos y geotécnicos.

$S_{geo}$ : Susceptibilidad por factores geomorfológicos.

$S_{us}$ : Susceptibilidad producida por el uso del suelo.

### *Selección de factores condicionantes*

La ecuación mostrada anteriormente (ecuación 1), supone que la zonificación de la susceptibilidad por deslizamientos se fundamenta en tres factores condicionantes básicamente: las condiciones geológico-estructurales, la geomorfología y el uso del suelo. Cada uno de los factores mencionados, tiene asociado un conjunto de variables e indicadores, establecidos a partir del modelo de Sánchez y Urego (2011).

Con base en este modelo, y ajustado a la realidad local, se adoptaron siete (7) variables y, a su vez, nueve (9) indicadores que definen de manera cualitativa la susceptibilidad a deslizamientos. Por su parte, cada uno de los indicadores lleva asociado categorías en forma jerárquica, para evaluar puntualmente las condiciones generadoras de susceptibilidad.

### *Litología*

Esta variable se utilizó para evaluar la influencia de los diferentes tipos de materiales, suelo y roca, en la activación de los deslizamientos. Para el caso de estudio, de acuerdo a la geología regional y local, se establecieron cinco (5) categorías (tabla 1), siguiendo el criterio de jerarquías analíticas en atención a las características geotécnicas de las unidades litológicas (Feliciani *et al.*, 1985).

**Tabla 1**

Tipo de material y orden jerárquico con base en las características geotécnicas.

<b>Variable</b>	<b>Tipo de Material</b>
<b>Litología</b>	<b>Mármol de Antímano</b>
	<b>Esquisto Las Mercedes</b>
	<b>Esquisto Las Brisas</b>
	<b>Aluvión</b>
	<b>Anfibolita</b>

Fuente: Tomado y modificado de Feliciani *et al.* (1985).

### *Mecánica de rocas*

Respecto a esta variable, su utilidad radicó en conocer el comportamiento y propiedades de la roca y su respuesta ante la acción de fuerzas internas o externas. Para ello, se evaluó el comportamiento del material rocoso respecto a una falla geológica; y, por otra parte, se realizó una

caracterización de taludes (Romana, 1985) mediante la clasificación SMR (*Slope Mass Rating*).

#### *Distancia a una falla geológica*

Consistió en la evaluación del marco geológico-estructural de la zona estudiada, y la influencia directa e indirectamente de las diferentes estructuras geológicas que otorgan un grado de inestabilidad a las laderas (tabla 2). El análisis cinemático de taludes se efectuó a partir de los datos levantados en campo, con el apoyo del *software* DIPS 5.1. Al final, se consideraron cinco (5) categorías, según lo planteado por Sánchez y Urego (2011).

**Tabla 2**

Distancia de influencia de las fallas en el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos.

<b>Distancia a una Falla Geológica</b>
< 200 metros
200–500 m
500 - 1 Km
1 Km–2 Km
>2Km

Fuente: Tomado de Sánchez y Urego (2011).

#### *Caracterización geomecánica*

Se seleccionaron 24 estaciones de trabajo, distribuidas en toda el área de estudio, en cada estación se caracterizaron los macizos rocosos mediante la clasificación geomecánica SMR (Romana, 1985); aunado a la aplicación de la caracterización geomecánica RMR (*Rock Mass Rating*) propuesta por Bieniawski (1989). En sitio se realizó el estudio detallado de las diaclasas (separación, persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración), hasta obtener el parámetro RQD (*Rock Quality Designation*). Asimismo, se evaluó la hidrogeología de los macizos, al igual que se tomaron muestras de mano representativas para realizar los ensayos de resistencia a la compresión simple de la roca en laboratorio.

A manera de realizar una verificación rápida en sitio de las características geológicas del macizo rocoso, y para comparar los resultados obtenidos de la clasificación geomecánica SMR de todas las estaciones, también se aplicó la clasificación GSI (*Geological Strength Index*) propuesta por Hoek y Brown (1997).

Para el análisis cinemático y de estabilidad se definieron cinco (5) categorías (rangos de SMR), a partir de los trabajos realizados por Hernández *et al.* (2008) y Minminas (2015), que sirvieron a los efectos de la presente investigación como una condición parcial de la susceptibilidad a deslizamientos. En la tabla 3 se muestra una aproximación de la



susceptibilidad a deslizamientos, donde el valor del SRM es un marcador para rocas y, con base en el factor de seguridad, la condición de inestabilidad en suelos. Los valores de SMR obtenidos en cada estación de trabajo se utilizaron para la elaboración de la cartografía temática, mediante el procedimiento IDW (*Inverse Distance Weighting*) del ArcGIS 10.1.

**Tabla 3**  
Clases de estabilidad mediante la metodología SMR.

SMR	Descripción	Estabilidad	FS	Susceptibilidad
≤ 30	Muy Mala	Totalmente inestable	< 1	Muy Alta
31 - 40	Mala	Inestable	1 - 1.1	Alta
41 - 60	Normal	Parcialmente estable	1.2 - 1.5	Media
61 - 80	Buena	Estable	1.5 - 2	Baja
> 80	Muy Buena	Totalmente estable	> 2	Muy Baja

Fuente: Tomado y modificado de Hernández et al. (2008) y Minminas (2015).

### Geotecnia

En este punto, a partir de los sondeos geotécnicos realizados en la zona de estudio por Azancot (2014), se efectuó una zonificación geotécnica considerando que los materiales predominantes se comportan como suelos granulares en toda el área de la subcuenca Mamera, para estimar entonces el ángulo de fricción y la compacidad de los materiales (tabla 4). Dado que los resultados del trabajo realizado por Azancot (2014) no presentan información concerniente al ángulo de fricción en ninguno de los puntos de sondeo, se estimó la compacidad del material a partir del número de golpes  $N_{spt}$  en los niveles de suelo, según la tabla de compacidad propuesta por De Santis (s/f).

La ubicación espacial de los sondeos geotécnicos, y los resultados asociados a estos, se utilizaron para la elaboración de la cartografía temática usando el procedimiento IDW (*Inverse Distance Weighting*) del ArcGIS 10.1.

**Tabla 4**  
Compacidad de los materiales granulares.

Nº Golpes $N_{spt}$	Compacidad	$\phi$
< 4	Granular muy suelto	< 26°
5 - 10	Granular suelto	27°-29°
11 - 30	Granular medio	30°-35°
31 - 50	Granular denso	36°-38°
> 50	Granular muy denso	> 38°

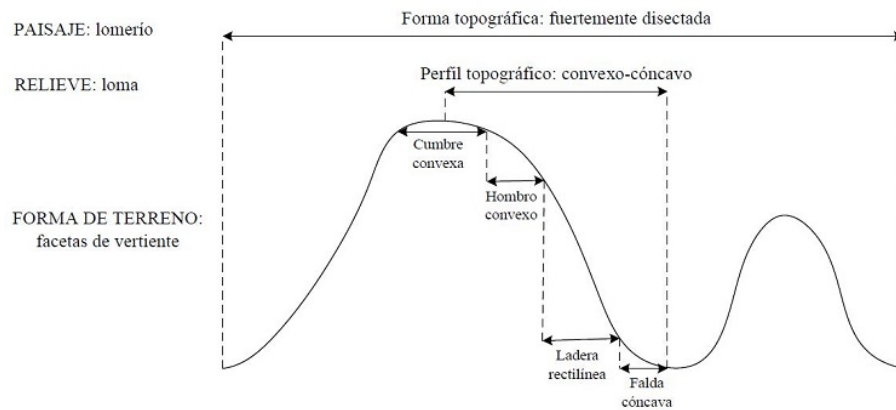
Fuente: Tomado de De Santis (s/f).

### Morfología

Así como lo expresan Sánchez y Urego (2011), el análisis morfológico se realizó con la finalidad de definir un tipo de relieve específico asociado a una mayor o menor susceptibilidad a los deslizamientos. Adicionalmente, se incluyó la medición del espesor del depósito y su influencia directa en la generación de procesos superficiales.

### Geoformas

Las distintas geoformas descritas para la zona de estudio se agruparon en 3 categorías, según los atributos del perfil topográfico (Zinck, 2012), esto facilitó el análisis de la topografía mediante la sección transversal de una porción de terreno, logrando visualizar en dos dimensiones la geometría de las geoformas. Las geoformas antes mencionadas, se agrupan en perfiles de topografía cóncavos, convexos y rectilíneos, información que fue necesaria para elaborar y diseñar el mapa de relieve o geoformas (figura 3).



**Figura 3**

Relación entre los atributos topográficos y los niveles categóricos del sistema de clasificación de las geoformas, según Zinck (2012).

Fuente: Tomado de Zinck (2012).

### Espesor del depósito

Para efectos de la investigación, se asumió la clasificación propuesta por Van Zuidan (1985), quien define 5 categorías para diferenciar los espesores de los depósitos. Sin embargo, a la clasificación de Van Zuidan (1985) se le realizaron algunos ajustes en tres (3) de las categorías de los espesores de suelo, ya que no se contó con información detallada de los depósitos en rangos menores a 1 metro (tabla 5).

**Tabla 5**  
Espesor de los depósitos.

<b>Espesor del deposito</b>	<b>Descripción</b>
> 2 m	Profundo
1 - 2 m	Moderadamente Profundo
< 1 m	Superficial

Fuente: Tomado de Van Zuidan (1985).

### *Morfometría*

Consistió en el análisis clinométrico y su relación con la ocurrencia de deslizamientos. Se utilizó la clasificación en rangos propuesta por el IMGRAD (2015). En la tabla siguiente, se muestran los rangos de pendiente dividido en cinco (5) categorías (tabla 6).

**Tabla 6**  
Rangos de pendiente para el análisis clinométrico.

<b>Pendiente</b>
< 5°
6° - 20°
21° - 30°
31° - 45°
> 45°

Fuente: Tomado del IMGRAD (2015).

### *Morfodinámica*

De acuerdo a Sánchez y Urego (2011), la morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos; tanto los antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve, además, porque son los responsables del estado actual de las geoformas o unidades de terreno.

Para el análisis de ésta variable, se utilizó la información publicada por FUNVISIS en su portal web sobre los registros de eventos históricos (específicamente los relacionados a deslizamientos activados por lluvia) y la publicada por la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), a través de su portal DesInventar. Asimismo, se manejó la información de registros históricos disponibles en el Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD), datos de informes técnicos, fotografías aéreas, ortofotomapas, tesis de grado, entrevistas a actores comunitarios, entre otros.

### *Uso del Suelo*

Se evaluó con el fin de determinar la degradación ambiental y los procesos antrópicos que han incidido en la ocurrencia de deslizamientos. La descripción de la cobertura vegetal se realizó mediante la revisión bibliográfica y la interpretación de ortofotomapas del vuelo 2011, teniendo en cuenta la altura del dosel y el tamaño de la copa, según la clasificación del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (1983).

En relación a las zonas ocupadas e intervenidas, la interpretación se basó en identificar de forma espacial las variables asociadas al entorno urbano. Para ello, se utilizaron los ortofotomapas del año 2011 para generar polígonos que corresponden a áreas homogéneas categorizadas en sectores urbanos (tabla 7).

**Tabla 7**  
Distintos tipos de uso del suelo.

<b>Uso del suelo</b>
Gramíneas
Sin cobertura
Área de cultivos
Área Urbana
Matorrales
Bosques

Fuente: Adaptado de Sánchez y Urego (2011) con base en la clasificación del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (1983).

En resumen, en la tabla 8 se muestra, de manera sistematizada, el diseño referencial para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos a partir de los factores antes mencionados, precisando las diferentes variables e indicadores a medir, con sus respectivos valores numéricos.

Tabla 8

Factores de susceptibilidad, variables e indicadores para la evaluación de deslizamientos.

Factor de Susceptibilidad	Variable	Peso	Indicador	Valor	Categoría	Valor
Geología y Geotecnia	Litología	5%	Tipo de material	0.05	Mármol de Antimano	1.00
					Esquisto Las Mercedes	0.90
					Esquisto Las Brisas	0.80
					Aluvión	0.70
					Anfibolita	0.05
	Mecánica de rocas	30%	Distancia a una falla geológica	0.05	< 200 m	1.00
					200-500 m	0.80
					500 - 1 Km	0.60
					1 Km-2 Km	0.40
			Clasificación SMR	0.25	>2Km	0.10
					≤ 30	1.00
					31 - 40	0.90
					41 - 60	0.70
	Geotecnia	15%	Clasificación del suelo. (Compacidad)	0.15	61 - 80	0.30
					> 80	0.05
Granular muy suelto					1.00	
Granular suelto					0.90	
Granular medio					0.70	
Geomorfología	Morfología	15%	Geoformas	0.05	Convexas	1.00
					Cóncavas	0.70
			Espesor del depósito	0.10	Rectilíneas	0.20
					> 2 m	1.00
	Morfometría	10%	Pendiente	0.10	1 - 2 m	0.70
					< 1 m	0.30
					< 5°	0.05
					6° - 20°	0.40
	Morfodinámica	20%	Inventario y Registro de eventos	0.20	21° - 30°	0.60
					31° - 45°	0.90
Uso del suelo	Uso actual	5%	Tipo de cobertura	0.05	> 45°	1.00
					Existe	1.00
					Existe y se intervino	0.50
					No existe	0.05
					Gramíneas	1.00
					Sin cobertura	0.80
					Área de cultivos	0.60
Área Urbana	0.40					
Matorrales	0.20					
Bosques	0.05					
Total		100%		1.00		

Fuente: Padrón (2017).

## ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD

En el presente trabajo se aplicó una combinación de técnicas, tanto para la evaluación de la susceptibilidad deslizamientos, como para la construcción y diseño de los niveles de susceptibilidad. Fue usado el método heurístico (indirecto) como un procedimiento alternativo basado en las experiencias y trabajos previos (PMA y GCA, 2007). La asignación de la ponderación a cada variable, indicadores y categorías, se efectuó mediante el sustento teórico y trabajos previos. Por otra parte, se aplicó también el método de evaluación directa, que consistió en la verificación en sitio de las condiciones de inestabilidad, es decir,

correlacionar los eventos anteriores y actuales con las condiciones del terreno, a fin de generar la mayor cantidad de información cualitativa (PMA y GCA, 2007).

Los procesos metodológicos empleados para estimar los niveles de susceptibilidad por deslizamientos, se agruparon en cuatro (4) clases. Este criterio permitió clasificar la estabilidad relativa de la zona estudiada (tabla 9).

**Tabla 9**  
Niveles de susceptibilidad a deslizamientos.

NIVEL	DESCRIPCIÓN
<b>BAJA</b>	Terrenos compuestos por roca fresca a poco meteorizada, o material de relleno compactado cumpliendo con especificaciones técnicas, ubicados en zonas planas o con pendientes menores a 5°. Están cubiertos por vegetación y no se observan indicios de movimientos en masa antiguos o activos.
<b>MEDIA</b>	Taludes/laderas con pendientes promedios entre 5° y 20°, compuestos por pequeños espesores de suelo residual o roca moderadamente meteorizada y poco fracturada. Presentan densidad moderada de vegetación. Ocurrencia de movimientos en masa incipientes, deslizamientos locales esporádicos que pueden incrementar el nivel de vulnerabilidad física de los elementos expuestos, sin llegar a presentarse colapsos de edificaciones, pero que pueden generar el colapso de accesos locales (escaleras, caminerías, etc.) cercanos a las edificaciones.
<b>ALTA</b>	Taludes/laderas con pendientes promedios entre 20° y 30°, compuestos por materiales de comportamiento geomecánico regular a malo (roca muy meteorizada y fracturada) o suelo residual con espesores mayores a 1 metro. Terrenos con escasa vegetación o deforestados. Evidencias de movimientos en masa antiguos y se evidencian movimientos en masa activos a nivel local.
<b>MUY ALTA</b>	Taludes/laderas con pendientes mayores a 30°, compuestos por materiales de comportamiento geomecánico malo a muy malo (roca muy meteorizada y fracturada) o suelo residual en grandes espesores. Presentan escasa vegetación a causa de los procesos antrópicos. Existen evidencias de ocurrencia de movimientos en masa activos en zonas relativamente amplias que afectan considerablemente la capacidad de respuesta de los elementos expuestos.

Fuente: Padrón (2017).

## FACTOR DETONANTE

Obtenida la susceptibilidad a deslizamientos, el factor detonante o disparo por lluvia ( $D_{II}$ ) será el parámetro que determine la probabilidad de ocurrencia de un evento generador de daños. Por consiguiente, se planteó la ecuación final para la estimación de la amenaza por deslizamientos, como se observa a continuación:

$$A = (S_{gg} + S_{geo} + S_{us}) * (D_{II}) \quad (2)$$

Donde:

A: Amenaza

$D_{II}$ : Factor de disparo por lluvias.

### *Datos de lluvia*

Con los datos de lluvia suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) se analizaron específicamente los registros de 6 estaciones pluviométricas, ubicadas en las adyacencias de la subcuenca Mamera (tabla 10).

**Tabla 10**  
Estaciones pluviométricas usadas para la estimación del umbral.

Serial	Estación	Localización		Operatividad
DC00540CP1	Caracas-Hacienda Montalbán	10,472778	-66,968056	1958-1983
DC00625CP1	Caracas-Hacienda Mamera	10,456389	-66,992500	1968-1981
DC01420CC1	Loma del Cafetal	10,483333	-67,016667	1958-1975
DC01426CC1	Macarao-Dique	10,433333	-67,033333	1947-1983
DC01427CP1	Sabaneta	10,466667	-67,033333	1948-1983
DC05061CP1	Caricuao	10,438333	-66,991389	1953-1983

Fuente: Tomado del INAMEH (2016).

Aplicando la distribución de probabilidades pluviométricas mediante el método de Gumbel tipo I, se obtuvieron las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias. Al mismo tiempo, se calcularon las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y las intensidades de lluvia. Por último, se aplicó un procedimiento estadístico de regresión potencial hasta obtener la ecuación de intensidad válida para cada estación pluviométrica, con el cual se construyeron curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

En vista de que los datos eran insuficientes respecto a la cantidad de eventos ocurridos en la zona estudiada, también se analizaron estadísticamente los datos pluviométricos de la estación Cajigal y Cántaro de la UCV, mediante una verificación de los registros de eventos históricos de deslizamientos, en el período comprendido entre 1965 y 2015.

### *Determinación del umbral de lluvia*

El término umbral es definido por Reichenbach *et al.* (1998) como el nivel mínimo o máximo de alguna cantidad a partir de la cual un proceso ocurre. El umbral mínimo representa la cantidad de lluvia por encima de la cual la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa se incrementa drásticamente; en tanto que el umbral máximo corresponde a la cantidad de lluvia en la cual ha ocurrido el mayor porcentaje de movimientos en masa (Glade *et al.*, 2000).

Para efectos de la investigación, se evaluó la lluvia como factor detonante estimando el umbral de lluvias máximas en 24 horas y considerando lluvias acumuladas.

En el primer caso, se analizó como factor detonante la lluvia de corta duración, conocida como la precipitación registrada durante las veinticuatro horas anteriores a la ocurrencia del movimiento de ladera. La determinación de la intensidad y la duración se calculó mediante curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) con los registros de las 6 estaciones pluviométricas señaladas en la tabla anterior (tabla 10), para duraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12 y 24 horas. A través de la distribución de Gumbel tipo I y regresiones potenciales se establecieron los valores extremos para períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.

Respecto a las lluvias acumuladas, se adoptó el modelo de Martínez *et al.* (2011), que consiste en tomar los datos de lluvia acumulada (LA), o lluvia del corto plazo (1, 3, 5, días inmediatamente previos a la ocurrencia del evento, más las 24 horas del día de su ocurrencia) y los datos de lluvia acumulada antecedente (LAA), o lluvia del largo plazo (5, 10, 15, 30, 60 días), que corresponde a la cantidad de lluvia caída en los días precedentes a los que se consideraron en la lluvia acumulada (LA).

Para reducir la incertidumbre en los resultados, se realizó una calibración del modelo con base en los datos de lluvia disponible en la estación pluviométrica DC00531CC4, Observatorio Cajigal. Esta calibración se realizó mediante gráficos de dispersión, con el fin de obtener la relación lluvia acumulada (LA) y lluvia acumulada antecedente (LLA), como valor crítico en la activación de deslizamientos.

## ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA

### *Estructura de Datos*

El análisis de vulnerabilidad física se realizó mediante una adaptación del método planteado por Padrón (2015), a propósito de evaluar los elementos expuestos desde el punto de vista estructural, sus características constructivas, diseño y como pueden incidir positiva o negativamente en su entorno. Asimismo, se analizaron las relaciones humanas en su ambiente construido, su distribución y concentración, para determinar grados de afectación en la población ante la ocurrencia de movimientos en masa.

La base de datos (atributiva y espacial) de las edificaciones de uso residencial y otros usos fue suministrada por el IMGRAD. Dicha base de datos sufrió adaptaciones respecto al modelo de Padrón (2015), ya que no presentaba correspondencia en cuanto a los criterios de evaluación de la vulnerabilidad física. Los datos se ajustaron a la siguiente ecuación, que determina el grado de susceptibilidad de los elementos expuestos:

$$G_{Se} = 1 - (1 - S_{Est}) * (1 - S_N) * (1 - S_{Det}) * (1 - S_{Ent}) \quad (3)$$

Dónde:

$G_{Se}$ : Grado de susceptibilidad de los elementos expuestos.



- $S_N$ : Susceptibilidad producida por el número de niveles en la estructura.
- $S_{Est}$ : Susceptibilidad por la tipología de construcción.
- $S_{Det}$ : Susceptibilidad producto del deterioro de la estructura.
- $S_{Ent}$ : Susceptibilidad del entorno adyacente a la estructura.

### *Vulnerabilidad física y elementos expuestos*

El análisis de vulnerabilidad física consistió en el proceso mediante el cual se determinaron los posibles daños y pérdidas (personas y viviendas de uso residencial) ante la amenaza por deslizamientos. Además, radicó en la identificación, evaluación y cuantificación de los elementos expuestos. Para esto fue importante conocer las causas y factores que conllevaron a la construcción de vulnerabilidad física en la zona estudiada.

Cabe destacar, que se usó la tabla descriptiva propuesta por Padrón (2015) referente al análisis de vulnerabilidad física, quien hilvana detalladamente cuatro (4) rangos con la finalidad de obtener el nivel de vulnerabilidad física por deslizamientos (tabla 11).

**Tabla 11**  
Niveles y descripción de la vulnerabilidad física.

VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
<b>BAJA</b>	Viviendas que cumplen con las normativas vigentes de construcción, localizadas en zonas geotécnicamente estables y cuentan con obras ingenieriles de contención (las ubicadas en cortes o terraplén). Las viviendas presentan buen estado de conservación y no exhiben daños estructurales aparentes producto de sollicitaciones. Las viviendas cuentan con sistemas de aguas blancas y servidas empotrados sin que produzcan afectaciones al terreno o al entorno.
<b>MEDIA</b>	Viviendas de estructura reforzada o mampostería confinada que se encuentran localizadas en zonas geotécnicamente estables, pero no cuentan con obras de contención. Presentan indicios de deterioro superficial (sólo en los acabados), sin afectaciones en la estructura. Se observan procesos naturales y/o antrópicos leves que pudieran favorecer a futuro riesgo de desastres por movimientos en masa. Los sistemas de aguas blancas y servidas presentan deterioro por falta de mantenimiento.
<b>ALTA</b>	Viviendas de construcción tradicional (mampostería confinada y no confinada o mixta), localizadas en zonas geotécnicamente inestables. Las viviendas evidencian daños estructurales moderados a fuertes producto de las sollicitaciones que produce el movimiento del terreno. La estabilidad de la estructura se ve comprometida, más aun si está adosada a otras edificaciones con defectos constructivos y daños estructurales. Los sistemas de aguas blancas y/o servidas generan daños al ambiente e inducen a la activación de movimientos en masa.
<b>MUY ALTA</b>	Viviendas construidas con los sistemas de mampostería confinada, no confinada, ligeras o construcciones simples, localizadas en zonas geotécnicamente muy inestables. Las estructuras presentan daños graves a muy graves y un marcado deterioro de los elementos que la componen. Su estabilidad está seriamente comprometida. En el entorno se observan daños de consideración que inciden en la aceleración de los movimientos del terreno, como grietas de tracción y hundimientos. Las aguas blancas y/o servidas fluyen libremente por el entorno ante el estado precario del sistema.

Fuente: Tomado y modificado de Padrón (2015).

Por otra parte, con el uso de programas básicos para cálculos estadísticos (Excel y SPSS), se diseñaron tablas descriptivas por cada una de las organizaciones sociales, reflejando los valores absolutos y relativos de las edificaciones expuestas, así como, la cantidad de viviendas vulnerables separadamente por nivel.

## PREPARACIÓN DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL

### *Rasters de modelo digital de terreno y pendiente*

Ambos insumos cartográficos se generaron a partir de las curvas de nivel con intervalo de 1 metro con un pixelado de 1, generando varias categorías según el grado de inclinación.

El mapa de pendiente se obtuvo a través de un modelo de elevación digital del terreno, generado con el módulo 3D *Analyst* del ArcGIS 10.1, a partir de las curvas de nivel del vuelo ejecutado en la ciudad de Caracas 2010-2011. Los rangos de pendientes considerados para el análisis clinométrico fueron los siguientes: 0° a 5°, 5° a 20°, 20° a 30°, 30° a 45° y > 45°.

### *Mapa de unidades de relieve*

Las geoformas se identificaron mediante el modelo digital de terreno, ajustadas con la temática de pendiente y los vectores de hidrografía y curvas de nivel a intervalo de un 1 metro.

### *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra*

La captura digital de las formaciones vegetales se efectuó mediante la lectura e interpretación de fotoplanos con base en los criterios publicados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, en el Proyecto de Sistemas Ambientales Venezolanos (1983). Sin embargo, no todos los criterios planteados en el mencionado proyecto fueron tomados en cuenta para el presente trabajo de investigación, ya que la escogencia de los parámetros estuvo sujeta a la disponibilidad de información.

### *Mapa de geología*

Se vectorizaron las cartas 6847-III-NO y 6747-II-NE, perteneciente al Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa realizado por Urbani y Rodríguez (2004).

### *Raster de sondeos geotécnicos*

Los resultados de cincuenta (50) exploraciones geotécnicas en el corredor Mamera-El Junquito, realizadas por Azancot (2014), fueron utilizadas para la determinación de áreas susceptibles a deslizamientos. Estas se plotearon a través del *software* ArcGIS 10.1, a fin de conocer la distribución y localización de cada sondeo, para así poder interpretar los resultados del estudio respecto al contexto físico-natural y antrópico del área evaluada. Simultáneamente, se elaboró una estructura atributiva

orientada a compilar los resultados obtenidos en cada punto de perforación, y así proceder a la interpolación de los espesores de relleno mediante el método IDW (*Inverse Distance Weighting*). Para ello se creó una poligonal que agrupó los puntos de perforación, haciendo posible que la red de triangulación creada durante el proceso de interpolación se ejecutara sobre espacios con información y no sobre amplias áreas donde no existen muestras, evitando alteraciones de los resultados durante el geoprocésamiento.

Obtenido el raster de los espesores de relleno en el área de estudio, se establecieron diferentes rangos o intervalos, con el propósito de definir las áreas condicionadas a presentar movimientos en masa según su espesor.

#### *Mapa de registro de eventos por deslizamientos*

Los diferentes procesos asociados a deslizamientos se localizaron e identificaron inicialmente en el trabajo de campo. Posteriormente, fueron corroborados mediante la lectura e interpretación de modelo digital de terreno, a través de diversas sobreposiciones cartográficas de tipo: planimétrica, topográfica, geológica e imágenes satelitales (fotoplanos); lo que facilitó ajustar y conocer la amplitud de cada uno de los procesos.

Cartográficamente, los procesos fueron identificados y definidos con la simbología propuesta por PMA y GCA (2007).

#### *Mapas de isoyetas o precipitaciones máximas*

La construcción de los mapas de isoyetas se basó, fundamentalmente, en los valores de intensidad arrojados por las curvas IDF para lluvias máximas de 24 horas, de las estaciones pluviométricas alrededor de la subcuenca Mamera. Con esto, se establecieron rangos de intensidad, los cuales fueron estimados a través del método de clasificación, modificado por cuantiles, según Alfaro (2014), para los distintos períodos de retorno.

Consecutivamente, se plotearon cada una de las estaciones pluviométricas con sus respectivos valores de intensidad asociado, para luego interpolar cartográficamente los datos de lluvia usando el método de IDW del ArcGIS 10.1.

#### *Niveles de susceptibilidad y amenaza*

Para generar el mapa de susceptibilidad y amenaza por deslizamientos se utilizó la herramienta “*Raster calculator*” (se basa en el concepto matemático de álgebra matricial), del programa ArcGIS 10.1. El álgebra de mapas incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida. En el caso del presente trabajo, se utilizó una sencilla operación aritmética que consistió en sumar las capas raster de los factores condicionantes; que a su vez llevan intrínseco el valor respectivo

de las variables, indicadores y categorías definidas para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos.

Posteriormente, con el mapa resultante de susceptibilidad, se realizó la misma operación aritmética, pero esta vez con el raster de isoyetas, para así obtener los mapas de amenaza por deslizamientos en distintos períodos de retorno (5, 10, 50 y 100 años).

*Niveles del riesgo por deslizamientos*

Para generar el mapa de riesgo de desastres por deslizamientos, se utilizó la herramienta “*Raster calculator*”. Cualitativamente, consistió en realizar una operación matricial de la amenaza y la matriz de vulnerabilidad física (tabla 12).

**Tabla 12**

Operación matricial de la amenaza y vulnerabilidad física a los fines de obtener los niveles de riesgo de desastre por movimientos en masa en cuatro (4) clases.

		Vulnerabilidad Física			
		Baja	Media	Alta	Muy Alta
Amenaza	Baja	2	3	4	5
	Media	3	4	5	6
	Alta	4	5	6	7
	Muy Alta	5	6	7	8

Fuente: Padrón (2017).

Los valores numéricos asociados a cada nivel, obtenidos en el cálculo aritmético de la amenaza y vulnerabilidad física, respectivamente, se sustituyeron por valores enteros entre 1 y 4, siendo la relación: 1 (verde), 2 (amarillo), 3 (naranja) y 4 (rojo).

Estos valores adimensionales fueron usados, tanto en la base de datos como en la tabla atributiva de la herramienta SIG, para correlacionar los resultados obtenidos de acuerdo a cada nivel y etiquetar la cartografía temática según cada nivel (tabla 13).

**Tabla 13**

Niveles de riesgo de desastres por deslizamientos.

NIVEL	RANGO
Bajo	≤ 2
Medio	3 – 4
Alto	5 – 6
Muy Alto	≥ 7

Fuente: Padrón (2017).

La correlación de las variables utilizadas para determinar la susceptibilidad y la amenaza por deslizamientos, así como también, el análisis de los distintos factores correspondientes a la vulnerabilidad física, sirvieron para diseñar la siguiente tabla síntesis, dividida en cuatro (4) clases o niveles de riesgo de desastres por deslizamientos (tabla 14).

**Tabla 14**  
Niveles del riesgo de desastres por deslizamientos.

<b>NIVEL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>BAJO</b>	Es un riesgo aceptable para los tomadores de decisiones y requiere tan sólo medidas de prevención. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas. Probabilidad de víctimas fatales muy baja o prácticamente nula.
<b>MEDIO</b>	Puede tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con las regulaciones vigentes), pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que el nivel de riesgo aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viables económicamente. Lesiones moderadas muy frecuentes, con alguna probabilidad de víctimas fatales.
<b>ALTO</b>	Riesgo mitigable. Opciones de medidas (estructural y no estructural) pueden reducir y evitar el incremento del riesgo. Estas opciones se deben evaluar de acuerdo con criterios de viabilidad técnica, financiera y urbanística, y en todos los casos se han de dirigir a disminuir la categoría de riesgo alto a riesgo medio. Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones considerables en la población.
<b>MUY ALTO</b>	Riesgo no mitigable. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser costosas y poco prácticas. Las pérdidas por materialización de la amenaza superan en todos los casos los valores económicos de los bienes. Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en la población.

Fuente: Adaptado de MINMINAS (2015).

## RESULTADOS

De acuerdo a los procedimientos geomáticos aplicados en relación a las ponderaciones establecidas para cada variable e indicador evaluado, se tiene como resultado que la zona estudiada comprende la siguiente zonificación.

**Tabla 15**  
Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos.

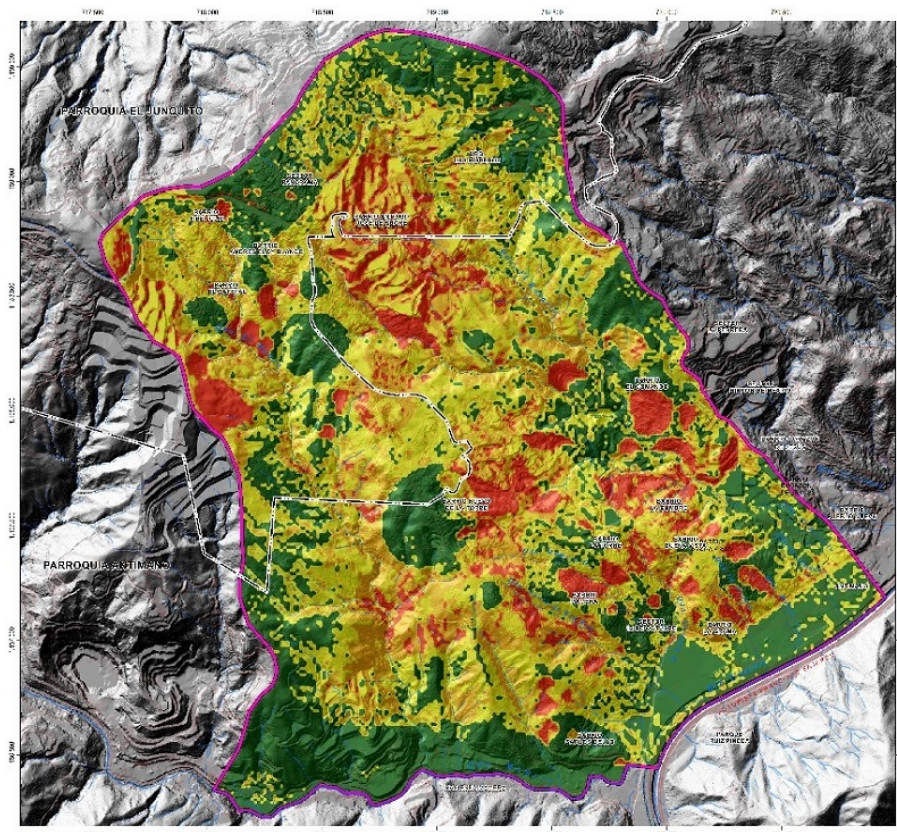
<b>NIVEL</b>	<b>ÁREA (HA)</b>	<b>%</b>
<b>BAJA</b>	<b>239,08</b>	<b>35.5</b>
<b>MEDIA</b>	<b>212,23</b>	<b>31.6</b>
<b>ALTA</b>	<b>141,33</b>	<b>21</b>
<b>MUY ALTA</b>	<b>79,95</b>	<b>11.9</b>

Fuente: Padrón (2017).

Pareciera contradictorio que el territorio estudiado, por encontrarse en una zona de montaña con laderas inestables, destacan los niveles de susceptibilidad Baja y Media, donde ambos niveles suman el 67% del total del área estudiada. Esto es reflejo de que la mayoría de los espacios antes

mencionados no tienen influencia de los factores antrópicos; en muchos casos corresponden a las áreas rurales dentro de la subcuenca Mamera.

Antagónicamente, el área resultante para el nivel de susceptibilidad Muy Alta parece ser nada significativa en comparación a las otras zonas (zonas con susceptibilidad Baja, Media, Alta); sin embargo, al analizar espacialmente el mapa de susceptibilidad, se observa claramente un predominio sobre el área ocupada (área urbana), situación que no ocurre en el resto del territorio. Esta apreciación pudiera asociarse inicialmente a los procesos o eventos ocurridos en el pasado, pero con una gran influencia de los factores antrópicos.



**Imagen 1**

Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa.

Fuente: Padrón (2017).

Las zonas con nivel de susceptibilidad Muy Alta a deslizamientos, se pudieran considerar, entonces, como zonas donde las condiciones geológico-geotécnicas han alcanzado un nivel crítico y una predisposición intrínseca a la inestabilidad del terreno. Tal aseveración se realiza partiendo del modelo para el análisis de susceptibilidad aplicado (imagen 1), ya que da mucho peso a los registros de eventos anteriores, suponiendo esta condición la principal causa para la activación de deslizamientos.

La excepción del caso sería exclusivamente en sitios donde ocurrieron eventos y han sido atendidos desde el punto de vista ingenieril (obras de mitigación), lo que pudiera ser a todas luces una zona con nivel de susceptibilidad Alta o Media; por tanto, los territorios hacia donde deben concentrar esfuerzos los distintos actores sociales para ejecutar

obras de mitigación ante la ocurrencia de deslizamientos serían estos, más aun, considerando que se encuentran ocupados. Para la zona en estudio, los resultados arrojan que el 21% del territorio presenta condiciones de susceptibilidad Alta a deslizamientos superficiales y 11,9% presenta condiciones de susceptibilidad Muy Alta.

#### *Amenaza por deslizamientos*

Mediante los raster de precipitaciones máximas para períodos de retornos de 5, 10, 50 y 100 años (mapas de isoyetas), y la superposición cartografía temática diseñada para la susceptibilidad, dan como resultado los mapas de amenaza por deslizamientos superficiales para los períodos de retorno ya señalados.

En definitiva, los resultados arrojan que las lluvias con probabilidad de ocurrencia en períodos de retorno igual a 10 y 100 años parecieran ser las más significativas en la generación de deslizamientos. Se aprecia en la tabla 16, que el nivel de amenaza Muy Alta a deslizamientos para estos períodos de retorno aumenta sustancialmente en comparación a los de 5 y 50 años, alcanzando hasta un 30,7 % de área total estudiada.

**Tabla 16**  
Zonificación de la amenaza para los distintos períodos de retorno.

NIVEL DE AMENAZA	PERÍODO DE RETORNO			
	5 AÑOS	10 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
	<b>Zonificación de Amenaza (Hectáreas)</b>			
<b>BAJA</b>	<b>224,57</b>	<b>52,13</b>	<b>268,57</b>	<b>53,54</b>
<b>MEDIA</b>	<b>217,19</b>	<b>221,03</b>	<b>193,77</b>	<b>227,94</b>
<b>ALTA</b>	<b>150,23</b>	<b>192,47</b>	<b>136,63</b>	<b>188,65</b>
<b>MUY ALTA</b>	<b>80,60</b>	<b>206,96</b>	<b>73,32</b>	<b>202,46</b>

Fuente: Padrón (2017).

Los niveles de amenaza Media y Alta se observan que mantienen poca variabilidad en los distintos períodos de retorno, manteniendo los rangos porcentuales de área entre 28,8% y 33,8% para el nivel de amenaza Media, y una variación entre 20,3% a 28,6 % para el caso de la amenaza Alta.

#### *Análisis de vulnerabilidad física*

El análisis de la vulnerabilidad física se realizó en el área urbanizada que alcanza una superficie total de 287,09 hectáreas. Se evaluaron un total de 11.465 estructuras, de los cuales, 10.346 son edificaciones de uso residencial. Los resultados arrojan, de acuerdo al modelo aplicado, un total de 88 estructuras con nivel Bajo de vulnerabilidad física, 5.930 en nivel Medio, 3.303 en Alto y 1.025 Muy Alta vulnerabilidad física (tabla 17). Respecto a la información social, en el área urbana de la

subcuenca Mamera, se estiman alrededor de 11.375 familias, para un total aproximado de 44.685 personas.

De igual forma, éste apartado permite describir las características constructivas de las estructuras inmersas en cada comuna u organización social, haciendo énfasis en el diseño de construcción, los materiales utilizados, el número de niveles o pisos, así como los daños estructurales causados por las solicitaciones del terreno. También se tomaron en cuenta las edificaciones con otros usos (centros educativos, centros de salud, casas comunales, áreas recreacionales, centros religiosos, entre otros), considerados como edificaciones vitales en momentos de emergencias o desastres.

Tabla 17

Resultados del análisis de la vulnerabilidad física para los distintos sectores de barrios autoproducidos.

COMUNA / SECTOR DE BARRIO	NIVELES DE VULNERABILIDAD FÍSICA				TOTAL ESTRUCTURAS EVALUADAS
	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	
17 VOCES DE EZEQUIEL ZAMORA	0	1149	673	172	1994
BOLÍVAR Y RODRÍGUEZ	0	1365	423	52	1840
CASCO CENTRAL	0	210	43	11	264
JUANA RAMÍREZ LA AVANZADORA	0	18	62	0	80
MAMERA SOCIALISTA	0	1173	322	0	1495
UN PASO AL FRENTE	0	490	1377	441	2308
UNIDAD Y FUERZA BOLIVARIANA	0	126	72	225	423
SECTORES DE BARRIO	88	1399	331	124	1942
TOTAL GENERAL	88	5930	3303	1025	10346

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA  
ÁREA URBANA SUBCUENCA MAMERA

■ BAJO ■ MEDIO ■ ALTO ■ MUY ALTO

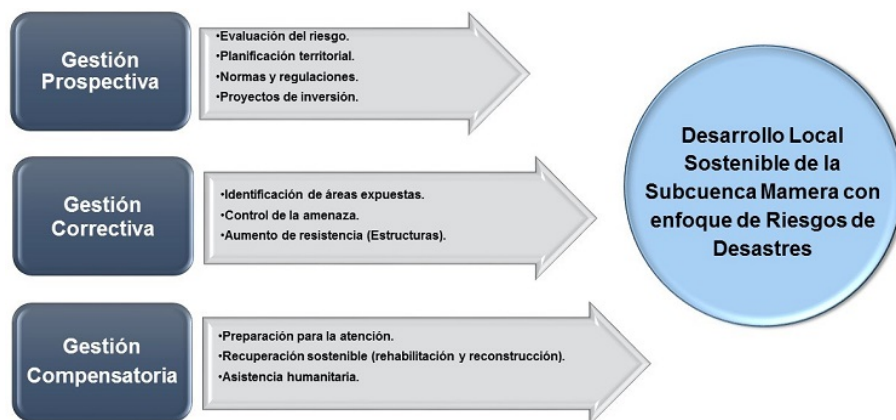
Fuente: Padrón (2017).

### *Estrategias para la reducción del riesgo de desastres*

Partiendo del marco jurídico vigente en la República Bolivariana de Venezuela, fundamentalmente la Ley Orgánica de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009) y los distintos acuerdos internacionales en relación a la gestión del riesgo de desastres, el Marco de Acción de Sendai (2015a) y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (2015), se desarrollaron estrategias para la reducción del riesgo de desastres por deslizamientos en la subcuenca Mamera. Dichas estrategias se fundamentaron, específicamente, en las líneas estratégicas aprobadas por las Naciones Unidas (2015b) en relación a la gestión del riesgo de desastres, las cuales son: la Gestión Prospectiva, Gestión Correctiva y la Gestión Compensatoria (figura 4).

Asimismo, fue notable tratar a detalle la prioridad número 1 del Marco de Acción de Sendai (2015a) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 y 11, con el único propósito de fomentar la comprensión del riesgo de desastres en zonas urbanas populares ubicadas en montañas; además de propiciar la ocupación de territorios en armonía con el ambiente, sostenibles, seguros y resilientes.





**Figura 4**

Estrategias para la gestión del riesgo de desastre por deslizamientos en la subcuenca Mamera.

Fuente: Padrón (2017).

A propósito de la gestión prospectiva, se analizaron las condiciones generadoras del riesgo de desastre por deslizamientos, además de las políticas de ordenación del territorio y los planes de inversión local. Asimismo, en la gestión correctiva, se definieron acciones para el control de la amenaza por deslizamientos, medidas para aumentar la resistencia de las edificaciones ante las solicitaciones impuestas al ocurrir estos eventos, como también, acciones para la recuperación ambiental. Por último, en la gestión compensatoria, se definieron acciones cuyo propósito es apoyar la recuperación integral de la población afectada a partir del aprovechamiento de sus recursos propios, propiciando el fortalecimiento comunitario e institucional con miras de generar capacidades de recuperación psicosocial de la población, medios de subsistencia y la recuperación económica local.

## CONCLUSIONES

La identificación de la amenaza por deslizamientos y el análisis de vulnerabilidad física de las zonas expuestas, dan muestra que existen condiciones propicias para la generación de movimientos en masa activados por lluvias en la subcuenca Mamera, y de escenarios de riesgo nada alentadores para la población que allí habita. El análisis de susceptibilidad da muestras, de que al menos el 32% del territorio evaluado, presenta condiciones para la activación de deslizamientos (susceptibilidad Alta y Muy Alta), donde un poco más del 90% de ese territorio se encuentra ocupado. Asimismo, cónsono a los registros históricos de lluvia y estimación de los distintos períodos de retorno, tenemos distintos escenarios en los cuales se pudieran producir daños a bienes (viviendas) como a personas.

Con estos datos, se tiene que, de acuerdo a los distintos períodos de retorno, los escenarios de riesgos o pérdidas probables (personas, bienes) tienen mayor significancia para los periodos de retorno de 10 y 100 años. Los análisis indican que los deslizamientos en la subcuenca

Mamera pudieran activarse con lluvias superiores a los 23.5 mm (umbral mínimo) en 5 días de lluvias cortas y 5 días de lluvias acumuladas antecedentes. Se esperarían pérdidas probables de viviendas en valores relativos que pudieran alcanzar el 19.4% del total de viviendas en el territorio y unas 16.433 personas afectadas. No se descarta un número más elevado de daños en personas y bienes, teniendo en cuenta la cantidad de viviendas que se encuentran en un nivel Alto de riesgo de desastre por deslizamientos. Si fuese el caso, habría que adicionar un 49.7% del total de viviendas, cifras muy preocupantes y de inmediata atención, ya que se supondría al menos 69% de las viviendas en el territorio con daños totales o parciales pero de consideración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, L. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos. *Nota Técnica 001*. SENAMHI-DGM. Ministerio del Ambiente. Perú.
- Azancot, M. (2014). *Estudio geotécnico para la estabilización de taludes e implantación de urbanismo, ubicado en el sector Mamera, parroquia Antimano, municipio Bolivariano Libertador, Distrito Capital*. Informe final N°: GGT-1310-11-INGEOT-FIN-MAMERA. Caracas.
- Bieniawski, Z. T. (1989) Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering, published by John Wiley & Sons: New York, NY, USA, ISBN: 978-0-471-60172-2, August 1989, 272 Pages.
- De Santis, F. (s/f). *Tabla de compacidad*. Caracas: Empresa Ingenieros De Santis C.A.
- Feliciani, P., De Luca P., Barrientos, C., Bastardo, S. y Ramírez, R. (1985). Estudio geotécnico del Área Metropolitana de Caracas, Sector Central. En *VI Congreso Geológico Venezolano*. Tomo X. Caracas: Sociedad Venezolana de Geólogos. Página.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., et al. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Primera edición. Ciudad de La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Glade, T.; Crozier, M. y Smith, P. (2000). Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical antecedent daily rainfall model. *Pure and Applied Geophysics*, vol. 157, (August), 6-8: 1059-1079.
- Grupo de Investigaciones sobre el Espacio Público (GISEP) (2012). *Proyecto Interinstitucional Cooperativo: Bases para la realización del plan Local de desarrollo urbano local sustentable para la ciudad de Mérida*. Mérida: Universidad de Los Andes. páginas
- Hernández, J., Valleé M., Feliziani, P. et al. (2008). Peligro sísmico de deslizamientos en laderas de Caracas. En: *Conferencia 50 Aniversario Sociedad Venezolana de Geotecnia "Estado de la Práctica" en Honor a Gustavo Luis Pérez Guerra*. Caracas: editorial. páginas.
- Hoek, E. y Brown, E. T. (1997). Practical estimates or rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*. 34(8), 1165-1186.

- Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD) (2015). *Evaluación de susceptibilidad por movimientos en masa de la Comuna Unidad y Fuerza Bolivariana perteneciente al Corredor Mamera-Junquito*. Caracas: Alcaldía del Municipio Libertador.
- Martínez, H., Montoya, J., Guerra, A. *et al* (2011). Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia: Revista EIA 2011 (Julio). Nro de páginas
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (1983). Mapa de la Vegetación Actual de Venezuela. *Proyecto de Sistemas Ambientales Venezolanos*. Caracas. Editorial. páginas
- Ministerio de Minas de Colombia (MINMINAS) (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Ciudad: Servicio Geológico Colombiano.
- Ministerio del Poder Popular para las Relaciones Interiores, Justicia y Paz (MPPRIJP). (2014). Avances de la gestión de riesgo en Venezuela y su prospectiva. En: *Documento país 2014*. Caracas. Editorial. Páginas
- Mora, R., Vahrson, W. y Mora, S. (1992). *Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Costa Rica: Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC).
- Narváez, L., Lavell, A. y Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos*. Lima: Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina – PREDECAN. páginas
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015a). *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030*. Asamblea General. Ginebra. Editorial. página
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015b). Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres. Resolución 69/284. Asamblea General. Ginebra. Editorial. página.
- Padrón, C. (2015). *Propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad física ante movimientos en masa. Caso estudio: asentamientos urbanos populares de la Carretera Vieja Caracas-La Guaira*. Trabajo de Grado de Maestría. Caracas: Facultad de Humanidades y Educación - UCV..
- Padrón, C. (2017). *Evaluación del Riesgo por Movimientos en Masa. Instrumento para la Planificación y Gestión Urbana de la Subcuenca Mamera-Parroquia Antimano del Distrito Capital*. Trabajo de Grado de Maestría. Caracas: Facultad de Ingeniería - UCV. .
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA y GCA) (2007) *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Publicación Geológica Multinacional No. 4. Editorial. página
- Reichenbach, P., Cardinali, M., De Vita, P. *et al* (1998). Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (Central Italy). *Environmental Geology*, (35), 2-3, 146-159.
- Romana, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Int. Symp. On the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas, editorial, pp. 49-53.

- Sánchez, C. y Urrego, L. (2011) *Metodología para la Evaluación de Riesgo en Corredores Viales*. Trabajo de Grado de Maestría. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Sandoval, C. (2014). *Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina*. Serie Desarrollo Territorial. Santiago de Chile: Naciones Unidas-CEPAL. (17) páginas.
- Urbaní, F. y Rodríguez, J. (2004). *Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Caracas: FUNVISIS - UCV, (iii) 146 p. (146 mapas a escala 1:25 000).
- Valleé, M. (2006). *Generación de un modelo de susceptibilidad a movimientos de remoción en masa considerando la intensidad de las lluvias y la actividad sísmica como factores detonantes: Aplicación al sector del Túnel Corral de Piedra (Metro Las Adjuntas-Los Teques), Municipio Libertador, Distrito Capital*. Trabajo de Grado. Ciudad Bolívar: Universidad de Oriente.
- Van Zuidam, R. (1985). Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphical mapping. *International Institute for Aerospace Survey and Earth Science. The Hague*. The Netherlands: ITC, Smits Publishers.
- Zinck, J. (2012). Geopedología. En: *Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Netherlands: ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede,

## Notas de autor

- \* Carlos Alberto Padrón Chacón. Realizó estudios de Ingeniería Geológica en la Universidad Central de Venezuela. Es Magister Scientiarum en Análisis Espacial y Gestión del Territorio y Magister Scientiarum en Ciencias Geológicas. Es Doctorando en Urbanismo (Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV). Actualmente es el Director de Gestión de Riesgos del Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD)-Alcaldía de Caracas y Docente Instructor en el programa de formación de grado en Arquitectura de la Universidad Bolivariana de Venezuela. Correo electrónico: carlospadron2502@gmail.com