

## **EVALUACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA. INSTRUMENTO PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN URBANA EN ZONAS DE BARRIOS AUTOPRODUCIDOS DE CARACAS**

**Carlos Padrón Chacón**

Candidato a Doctor en Urbanismo, FAU.UCV.  
Carlospadron2502@gmail.com

### **RESUMEN**

La investigación se concibe como un instrumento de gestión dinámico que orienta la acción estatal y comunal en el impulso del desarrollo técnico, sociopolítico, organizativo e institucional de las zonas urbanas populares expuestas a movimientos en masa. Para ello, el riesgo de desastres por movimiento en masa se obtiene analizando los factores de susceptibilidad que inciden en la ocurrencia de estos procesos (geología, geotecnia, geomorfología, uso del suelo) a partir de un cuadro de variables e indicadores con diferentes ponderaciones. Usando registros de eventos históricos en zonas afectadas por movimientos en masa y con datos de lluvias disponibles, se determinan curvas de intensidad-duración-frecuencia para períodos de retorno de 5, 10, 50, 100 años, así como el umbral de lluvia mínimo detonante. Asimismo, se realiza un análisis de vulnerabilidad físico-estructural de las edificaciones autoproducidas a través de un modelo que mide cuatro factores de susceptibilidad (por el número de niveles o carga que produce la estructura sobre el terreno, según diseño y tipología de construcción, por deterioro y daños en la estructura y la susceptibilidad del entorno generada por elementos antrópicos). Usando herramientas geomáticas, se realizan operaciones de álgebra de mapas para obtener una zonificación de la amenaza, elementos expuestos y vulnerabilidad física de cada estructura a escala catastral. Finalmente, se proponen acciones con miras a promover la ocupación armónica del hábitat, el desarrollo estratégico, la gestión urbana y la reducción del riesgo por movimientos en masa en los barrios ubicados en montañas.

**Palabras clave:** Gestión de riesgos, planificación urbana, barrios autoproducidos, movimientos en masa, transformación del hábitat.

## INTRODUCCIÓN

La expansión no planificada de muchas ciudades latinoamericanas se atribuye entre muchos factores a la combinación de una planificación territorial inadecuada y el fracaso de las autoridades urbanas en lo que se refiere a regulación de las normas de construcción (PNUD, 2010). En Venezuela la realidad no es distinta, pero más que por la falta de normas regulatorias (Cilento, 2000), la expansión y la ocupación del espacio obedece a condiciones sociopolíticas que han imperado durante los últimos 50 años (Chacín, 2013). Planes urbanos han existido, lo que ha fallado es la aplicación de los mismos como parte de las políticas públicas según el gobierno de turno (Padrón, 2015).

Otra de las causas se debe a la desarticulación en los distintos niveles del Estado-nación. Por un lado, están los planes nacionales de desarrollo, los que de uno u otro modo se articulan a los planes regionales y locales; y por otro lado, ante la ocurrencia desastres se diseñan en forma desigual estrategias, programas y planes de prevención (Moreno y Múnera, 2000).

Actualmente, se puede decir que han surgido políticas y estrategias para la transformación de los espacios urbanos por parte del Estado venezolano, principalmente en las zonas de barrios, destacando la Gran Misión Barrio Nuevo-Barrio Tricolor como una de estas, sin embargo, muchas de las estrategias de intervención se aplican con la idea de mejorar el hábitat, sus condiciones de habitabilidad y servicios, por mencionar algunas, pero se continúan haciendo con las mismas consideraciones de ocupación y sin una visión integral del problema (Sánchez y Gutiérrez, 2014).

A pesar de estas situaciones, es innegable pensar en la inmensa voluntad del Estado venezolano en tratar de saldar la deuda histórica de rehabilitar y transformar los barrios, pero pese al esfuerzo, tales políticas vienen acompañadas de errores sistemáticos en la ocupación de los espacios (Giménez et al., 2008), llevando al mismo Estado a convertirse en el primer constructor de vulnerabilidad y riesgos (Padrón, 2015). Es decir, se observa como una suerte de dualidad; por un lado aprueban leyes y programas para la rehabilitación física de barrios, pero estos programas se interrumpen o se retrasan por razones diversas, dependiendo del ámbito de Gobierno involucrado, tanto en el Gobierno central como en el local (Vallmitjana, 2002).

A propósito de las formas de desarrollo y ocupación de los barrios autoproducidos, en Caracas la mayoría se ubica sobre relieves variados (topografía irregular) y afectados por procesos geodinámicos externos (Padrón, 2015), más aún, en terrenos modificados por la actividad humana, haciendo de estos zonas geotécnicamente inestables, condiciones suficientes para alertar la posibilidad cierta de ocurrencia de movimientos en masa. Explica Jiménez (2006) que “el 60% de los movimientos en masa ocurren en las zonas informales, un 20% ocurre en cortes asociados al trazado vial y sólo un 15% ocurre en áreas residenciales distintas de los barrios y en cortes artificiales hechos para obras de infraestructura de servicios”, es decir, el tratamiento inadecuado del terreno en las zonas de ocupación informal pudiera ser la causa principal en la generación de movimientos en masa.

Si bien es cierto que la ciudad capital se encuentra expuesta a distintos peligros, los movimientos en masa vislumbran ser en la actualidad el principal problema urbano (Padrón, 2015). Al tener la ciudad una gran cantidad de lugares con dicho peligro, implica entonces el aumento acelerado de personas y bienes expuestos, claro está, que la propia exposición física no explica el aumento de los riesgos ni conduce automáticamente a ellos.

Desde las geociencias, muchos estudios científicos se han elaborado para tratar el tema de los movimientos en masa en zonas urbanas, hasta la formulación de propuestas metodológicas que permiten definir detalladamente zonas propensas a estos peligros, sin embargo, la mayor parte de los trabajos se limita a la realización de mapas de susceptibilidad

o peligrosidad, concentrando los esfuerzos de análisis principalmente en las características y descripción del proceso sin considerar los daños humanos y/o materiales que pueden ocasionarse debido a la acción de un proceso natural de este tipo (Bonachea, 2006). Aunque estos métodos tradicionales son muy útiles y de interés a la hora de desarrollar medidas de planificación territorial, no resultan suficientes, por tanto, se pretende, de acuerdo con la presente investigación, lograr desde distintos enfoques contribuir en nuevos esquemas y métodos de acción, que propicien la reducción de los riesgos geotécnicos.

En tal sentido, el siguiente trabajo contempla desde una perspectiva integradora la evaluación y análisis de zonas urbanas de montaña ante la ocurrencia de movimientos en masa activados por lluvias o de manera directa o indirecta por la actividad humana, determinando hasta qué punto la planificación urbana juega un papel fundamental en la ocupación del territorio. De la misma forma, se espera que los resultados arrojados coadyuven en las políticas públicas para el desarrollo de ciudades seguras y sostenibles.

## 1. MÉTODO

A los fines prácticos, la investigación se aplicó en la zona urbana de la subcuenca Mamera, parroquia Antímamo del Distrito Capital (imagen 1). El área de estudio comprende una extensión de 672,59 hectáreas y desde el punto de vista organizativo comunitario, el territorio está conformado por 7 comunas, dividido en 66 organizaciones sociales (consejos comunales o comités de tierra urbana). En función de los objetivos planteados y las exigencias requeridas para el análisis de las variables, fue imprescindible realizar una delimitación del área, tomando criterios geográficos conforme a unidades territoriales homogéneas (cuencas hidrográficas) (Sandoval, 2014). Este tipo de delimitación geográfica permitió la interpretación detallada de los aspectos físico- naturales y antrópicos del espacio que inciden en la geodinámica externa del terreno (Gaspari et al., 2013). Por otro lado, permitió cuantificar la población expuesta, así como las estructuras urbanas en cada territorio.

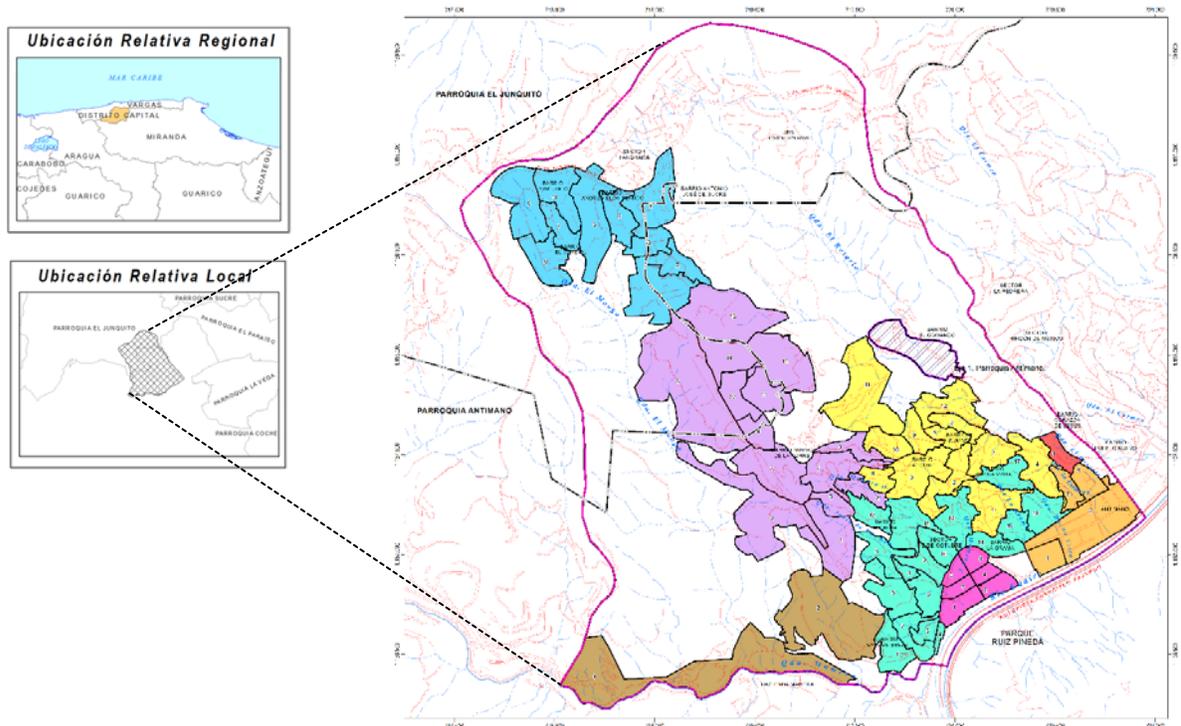


Imagen 1: Área de estudio y organizaciones sociales. Elaboración propia.

Respecto a la evaluación del riesgo de desastres por movimientos en masa, se trató mediante un enfoque sistémico del constructo social, de modo que la zona de estudio pudo ser entendida y gestionada como un sistema integrado, a través de un conjunto de estrategias interdependientes que se relacionaron e interactuaron entre sí (Narváez et al., 2009). Para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, la investigación se ajustó al método propuesto por Mora-Varhson-Mora (1992), con adaptaciones a partir de los trabajos realizados por Valleé (2006) y Sánchez y Urego (2011). En cuanto al análisis de vulnerabilidad física, la investigación se apoyó en el trabajo realizado por Padrón (2015). Ambos procedimientos se sistematizaron, tal como lo muestra la figura 1.

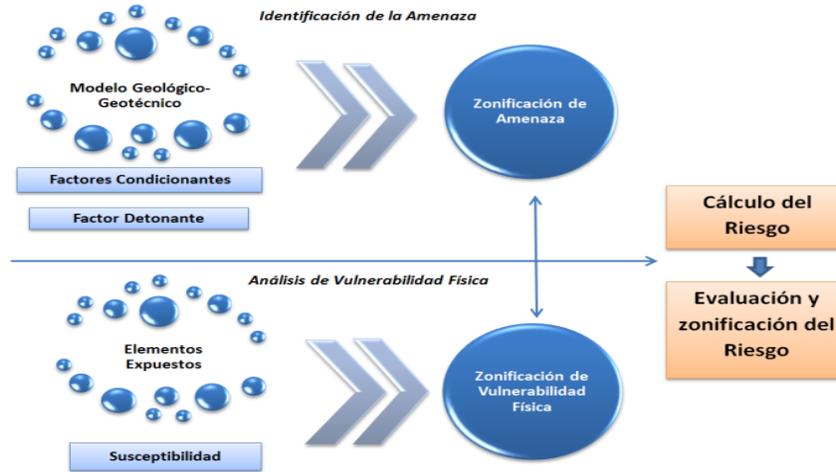


Figura 1: Esquema metodológico para la evaluación del riesgo de desastres por movimientos en masa. Elaboración propia.

### 1.1. Identificación y evaluación de la amenaza por movimientos en masa

La evaluación de la amenaza por movimientos en masa se realizó primeramente identificando y zonificando la susceptibilidad (laderas inestables) a partir de los factores condicionantes o aquellas causas que propician la ocurrencia de los movimientos en masa. La zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa 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 a movimientos en masa se apoya en los siguientes parámetros que define la siguiente ecuación:

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

Donde:

$Susc$ : susceptibilidad a movimientos en masa

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

$S_{geo}$ : Susceptibilidad por factores geomorfológicos

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

## 1.2. Selección de factores condicionantes

La ecuación mostrada anteriormente supone que la zonificación de la susceptibilidad por movimiento en masa 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, establecido 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, a su vez, nueve (9) indicadores que definen de manera cualitativa la susceptibilidad a movimientos en masa. Por su parte, cada uno de los indicadores lleva asociado categorías en forma jerárquica para evaluar puntualmente las condiciones generadoras de susceptibilidad (véase cuadro 1).

Cuadro 1: Factores de susceptibilidad, variables e indicadores para la evaluación de movimientos en masa. Adaptado de Sánchez y Urego (2011)

Factor de susceptibilidad	Variable	Peso	Indicador	Valor	Categoría	Valor
<b>Geología y geotecnia</b>	Litología	5%	Tipo de material	0,05	<b>Mármol de Antimano</b>	1,00
					<b>Esquisto Las Mercedes</b>	0,90
					<b>Esquisto Las Brisas</b>	0,80
					<b>Aluvión</b>	0,70
					<b>Anfibolita</b>	0,05
	Mecánica de rocas	30%	Distancia a una falla geológica	0,05	<b>&lt; 200 m</b>	1,00
					<b>200-500 m</b>	0,80
					<b>500-1 km</b>	0,60
					<b>1 km-2 km</b>	0,40
					<b>&gt;2 km</b>	0,10
			Clasificación SMR	0,25	<b>≤ 30</b>	1,00
					<b>31-40</b>	0,90
					<b>41-60</b>	0,70
					<b>61-80</b>	0,30
					<b>&gt; 80</b>	0,05
Geotecnia	15%	Clasificación del suelo. (compacidad)	0,15	<b>Granular muy suelto</b>	1,00	
				<b>Granular suelto</b>	0,90	
				<b>Granular medio</b>	0,70	
				<b>Granular denso</b>	0,30	
				<b>Granular muy denso</b>	0,05	
<b>Geomorfología</b>	Morfología	15%	Geoformas	0,05	<b>Convexas</b>	1,00
					<b>Cóncavas</b>	0,70
					<b>Rectilíneas</b>	0,20

			Espesor del depósito	0,10	> 2 m	1,00
					1-2 m	0,70
					< 1 m	0,30
	Morfometría	10%	Pendiente	0,10	< 5°	0,05
					6°-20°	0,40
					21°-30°	0,60
					31° - 45°	0,90
	Morfodinámica	20%	Inventario y registro de eventos	0,20	> 45°	1,00
					Existe	1,00
					Existe y se intervino	0,50
Uso del suelo	Uso actual	5%	Tipo de cobertura	0,05	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			

En función de lo descrito anteriormente y basado en el modelo de estimación de la susceptibilidad a movimientos en masa, se construyó el siguiente cuadro descriptivo, indispensable para estimar la estabilidad relativa del terreno en la subcuenca Mamera (cuadro 2).

Cuadro 2: Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa. Elaboración propia

NIVEL	DESCRIPCIÓN
<b>BAJO</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>MEDIO</b>	Taludes/laderas con pendientes promedio 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>ALTO</b>	Taludes/laderas con pendientes promedio 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 movimientos en masa activos a nivel local.

<b>MUY ALTO</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.
-----------------	--

### 1.3. Factor detonante

Obtenida la susceptibilidad a movimientos en masa, el factor detonante o disparo por lluvia ( $D_{ij}$ ) 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 movimientos en masa, como se observa a continuación:

Susceptibilidad

$$A = (S_{gg} + S_{geo} + S_{us}) * (D_{ij})$$

Probabilidad

Donde:

A: Amenaza

$D_{ij}$ : Factor de disparo por lluvias

### 1.4. Datos de lluvia

Con los datos de lluvia suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh), se analizaron específicamente los registros de seis estaciones pluviométricas ubicadas en las adyacencias de la subcuenca Mamera (cuadro 3).

Cuadro 3: Estaciones pluviométricas usadas para la estimación del umbral. Elaboración propia

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: Datos suministrados por el 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 Cagigal y Cántaro de la UCV, mediante una verificación de los registros de eventos históricos de movimientos en masa, en el período comprendido entre 1965 y 2015.

### 1.5. Determinación del umbral de lluvia

Reichenbach et al. (1998) definieron el término umbral 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 seis estaciones pluviométricas señaladas en el cuadro anterior (véase cuadro 2), 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 de corto plazo (1, 3, 5, días inmediatamente previos a la ocurrencia del evento, adicionando las 24 horas del día de su ocurrencia) y los datos de lluvia acumulada antecedente (LAA) o lluvia de 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 Cagigal. Esta calibración se realizó mediante gráficos de dispersión, con el fin de obtener la relación lluvia acumulada (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA), como valor crítico en la activación de movimientos en masa.

### 1.6. Análisis de vulnerabilidad física

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 la incidencia positiva o negativa 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.

En cuanto a 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 (ecuación 2)

$$G_{Se} = 1 - (1 - S_{Est}) * (1 - S_N) * (1 - S_{Det}) * (1 - S_{Ent}) \quad (2)$$

Donde:

$G_{Se}$ : 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

### 1.7. 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 de movimientos en masa. Además, radicó en la identificación, evaluación y cuantificación de los elementos expuestos. Para esto fue importante conocer las causas y factores que conllevaron la construcción de vulnerabilidad física en la zona estudiada.

Cabe destacar que se usó el cuadro descriptivo propuesto 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 de viviendas expuestas a movimientos en masa (cuadro 4). Por otra parte, con el uso de programas básicos para cálculos estadísticos (Excel y SPSS), se diseñaron cuadros descriptivos 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.

Cuadro 4: Niveles y descripción de la vulnerabilidad física. Padrón (2015)

DESCRIPCIÓN
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 solicitaciones. Las viviendas cuentan con sistemas de aguas blancas y servidas empotrados sin que produzcan afectaciones al terreno o al entorno.
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 (solo 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.

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 aún 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.

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.

### SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo con los procedimientos geomáticos aplicados en relación con las ponderaciones establecidas para cada variable e indicador evaluado (véase cuadro 1), se tiene como resultado que la zona estudiada comprende la siguiente zonificación (cuadro 5).

Cuadro 5: Zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa. Elaboración propia

NIVEL	ÁREA (ha)	%
<b>BAJO</b>	<b>239,08</b>	<b>35,5</b>
<b>MEDIO</b>	<b>212,23</b>	<b>31,6</b>
<b>ALTO</b>	<b>141,33</b>	<b>21,0</b>
<b>MUY ALTO</b>	<b>79,95</b>	<b>11,9</b>

Pareciera contradictorio que el territorio estudiado por encontrarse en una zona de montaña, destacan los niveles de susceptibilidad baja y media, donde ambos niveles suman 67% del total del área estudiada, pero en el detalle, la mayoría de estos espacios no tiene 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 alto parece ser nada significativa en comparación con 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.

Las zonas con nivel de susceptibilidad muy alto a movimientos en masa, 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, ya que da mucho peso a los registros de eventos anteriores, suponiendo que esta variable es la principal causa para la activación de movimientos en masa.

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 alto o medio, por tanto, los territorios hacia donde deben concentrar esfuerzos los distintos actores sociales para ejecutar obras de mitigación ante la ocurrencia de movimientos en masa serían estos, más aún, considerando que se encuentran ocupados. Para la zona en estudio, los resultados han arrojado que 21% del territorio presenta condiciones de susceptibilidad alta a movimientos en masa superficiales y 11,9% presenta condiciones de susceptibilidad muy alta.

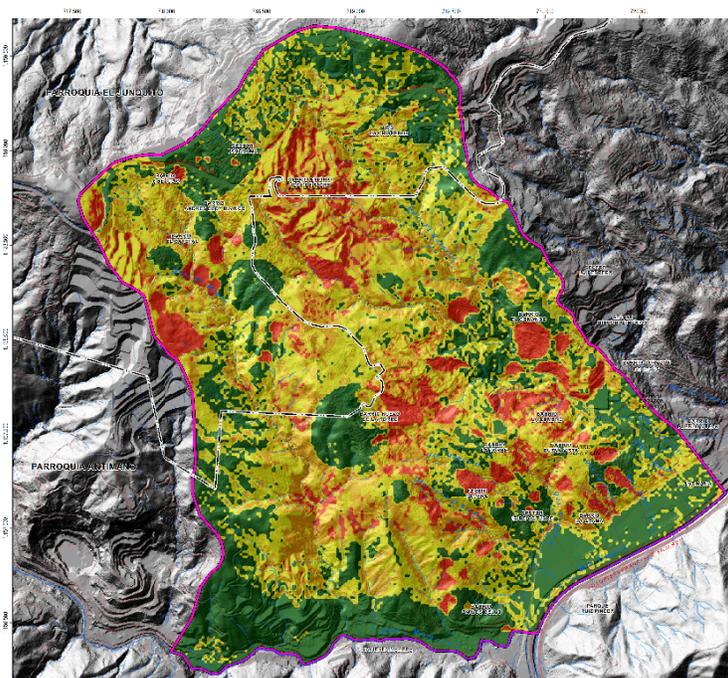


Imagen 2: Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa. Elaboración propia.

## AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Mediante los ráster de precipitaciones máximas para períodos de retornos 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 movimientos en masa 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 movimientos en masa. Se aprecia en el cuadro 6 que el nivel de amenaza muy alto a movimientos en masa para estos períodos de retorno aumenta sustancialmente en comparación con los de 5 y 50 años, alcanzando hasta 30,7% de área total estudiada.

Cuadro 6: Zonificación de la amenaza para los distintos períodos de retorno. Elaboración propia

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

Los niveles de amenaza medio y alto 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 medio y una variación entre 20,3% a 28,6% para el caso de la amenaza alto.

### 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 las cuales 10.346 son edificaciones de uso residencial. Los resultados arrojan, de acuerdo con el 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 alto vulnerabilidad física (cuadro 7). 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, este 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.

Cuadro 7: Resultados del análisis de la vulnerabilidad física para los distintos sectores de barrios autoproducidos. Elaboración propia



### ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Partiendo del marco jurídico vigente en la República Bolivariana de Venezuela y los distintos tratados internacionales en relación con la gestión del riesgo de desastres, se desarrollaron estrategias para la reducción del riesgo de desastres por movimientos en masa en la subcuenca Mamera.

Dichas estrategias se fundamentaron específicamente en las líneas estratégicas aprobadas por las Naciones Unidas (2015) en relación con la gestión del riesgo de desastres, las cuales son: la gestión prospectiva, gestión correctiva y la gestión compensatoria (figura 2).

Asimismo fue notable tratar a detalle la prioridad número 1 del Marco de Acción de Sendai (2015) 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.

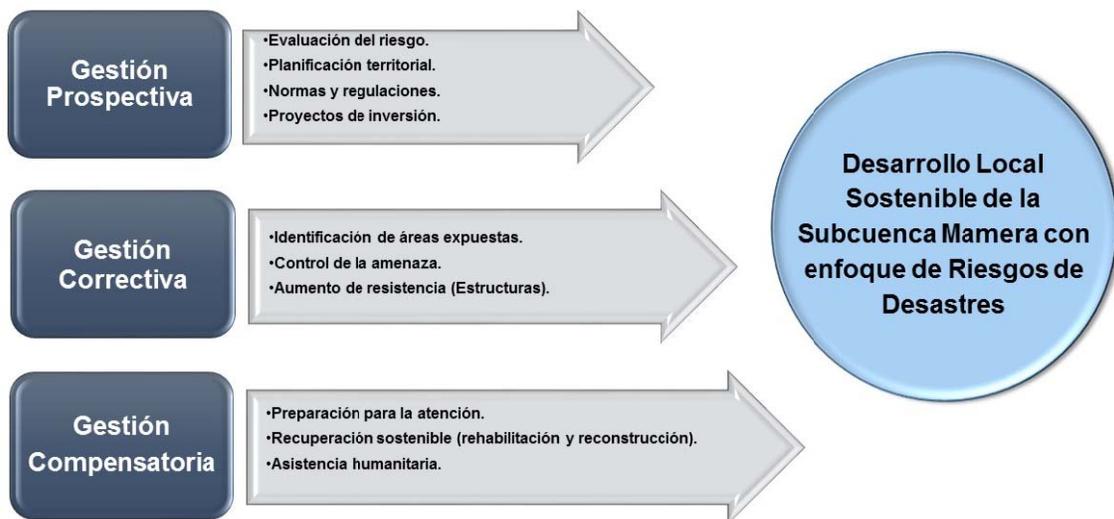


Figura 2: Estrategias y objetivos estratégicos para el desarrollo sostenible de la subcuenca Mamera. Elaboración propia.

A propósito de la gestión prospectiva, se analizaron las condiciones generadoras del riesgo de desastre por movimientos en masa, 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 movimientos en masa, medidas para aumentar la resistencia de las edificaciones ante las solicitaciones impuestas al ocurrir estos eventos, así 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 a generar capacidades de recuperación psicosocial de la población, medios de subsistencia y la recuperación económica local.

## CONCLUSIONES

La identificación de la amenaza por movimientos en masa 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 32% del territorio evaluado presenta condiciones para la activación de movimientos en masa (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 con los distintos períodos de retorno, los escenarios de riesgos o pérdidas probables (personas, bienes) tienen mayor significancia para los períodos de retorno de 10 y 100 años. Los análisis indican que los movimientos en masa 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 19,4% del total de viviendas en el territorio y alrededor de 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 movimiento en masa. Si fuese el caso, habría que sumar otro 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

- Bonachea, J. (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos (Tesis Doctoral). Facultad de Ciencias, Universidad de Cantabria, Colombia.
- Chacín, M. (2013). El barrio y su visión de desarrollo. Estudio de caso del barrio Colinas de Palo Grande. (Tesis Doctoral). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Cilento, A. (2000). Retos del hábitat urbano venezolano. *Espacio Abierto*, vol. 9, n° 3 / julio-septiembre, pp. 301-317.

Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M. y Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Primera edición. Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata, Universidad Nacional de La Plata.

Giménez, C., Rivas, M. y Rodríguez, J. (2008). Habilitación física de barrios en Venezuela. Análisis desde el enfoque de capacidades y crítica a la racionalidad instrumental. *Cuadernos del Cendes*, 25(69), pp. 69-88.

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), n<sup>os</sup> 6-8, pp. 1059-1079.

Jiménez, V. (2006). Proyecto predecán. Componente de fortalecimiento de sistemas y políticas nacionales de prevención y atención de desastres-resultado 1. Servicio de Asistencia Técnica para la Recolección y Sistematización de Información en la Región Andina-Venezuela. Extraído el 25 de agosto de 2012 de [http://www.eird.org/wikies/images/VENEZUELA\\_Sistematizaci3.pdf](http://www.eird.org/wikies/images/VENEZUELA_Sistematizaci3.pdf) (<http://www.comunidadandina.org/predecán/doc/r1/sistematiz/InfoSistematizVen.pdf>)

Martínez, H., Montoya, J., Guerra, A., González, T., Vélez, J. y Aristizábal, E. (2011). Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el valle de Aburrá, Colombia. *Revista EIA* (Julio). Extraído el 21 de agosto de 2015 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149222633009>

Mora, R., Vahrson, W. y Mora, S. (1992). *Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (Cepredenac).

Moreno, C. y Múnera A. (2000). Riesgos y vulnerabilidad: un enfoque de actuación en lo urbano. Extraído el 28 de julio de 2012 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2202/1/cim02-RiesgosyVulne.PDF>.

Narváez, L., Lavell, A. y Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos*. Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina – predecán. Lima, Perú.

Oficina de las Naciones Unidas. (2015). *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Resolución 70/1*. Asamblea General. Ginebra, Suiza.

Oficina de las Naciones Unidas. (2015). *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, Suiza.

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres - UNISDR (2015). *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030*. Asamblea General. Ginebra, Suiza.

Padrón, C. (2015). Propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad física ante movimientos en masa. Caso de estudio: asentamientos urbanos populares de la carretera vieja Caracas-La Guaira (Tesis de Maestría). Universidad Central de Venezuela, Caracas.

PNUD. (2010). Gestión del riesgo urbano. Buró de Prevención de Crisis y Recuperación. Extraído el 28 de abril de 2016 de: <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/crisis%20prevention/disaster/Reduccion-Gestion%20del%20Riesgo%20Urbano.pdf>

Reichenbach, P., Cardinali, M., De Vita, P. y Guzzetti, F. (1998). Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (Central Italy). *Environmental Geology*, vol. 35, n<sup>os</sup> 2-3, pp. 146-159.

Sánchez, L. y Gutiérrez, A. (2014). Potencialidades de la participación en la construcción de ciudad desde intervenciones urbanas en asentamientos precarios. *América Latina Hoy*, n° 68, pp. 119-136.

Sánchez, C. y Urrego, L. (2011). Metodología para la evaluación de riesgo en corredores viales (Tesis de Maestría). Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

Sandoval, C. (2014). *Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina*. Publicación de las Naciones Unidas-Cepal. Serie Desarrollo Territorial N° 17. Santiago de Chile, Chile.

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. Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar.

Vallmitjana, M. (2002). La planificación urbana en situaciones de urgencia social: las zonas de barrios. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*, 2002, vol. 8, n° 3 (sept.-dic.), pp. 119-129.