
EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE AMENAZAS NATURALES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Ricardo A. Smith, Jaime I. Vélez, Humberto Caballero, Carmenza Castiblanco, Clara Ramírez, Aurelio Arango, Claudia C. Rave, Amilkar Álvarez, Verónica Botero y Dimas Escobar

*Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente
Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín
rasmith@unalmed.edu.co, jivelezu@unalmed.edu.co*

Recibido para evaluación: 26 de Agosto de 2005 / Aceptación: 26 de Octubre de 2005 / Recibida versión final: 01 de Noviembre de 2005

RESUMEN

Se hace una propuesta metodológica para la estimación de la vulnerabilidad asociada a la posible ocurrencia de amenazas naturales en microcuencas, la cual se traduce en la definición de la vulnerabilidad ante cada posible amenaza. Posteriormente y con base en la combinación de una amenaza específica con los indicadores de vulnerabilidad que le son propios, se puede hacer la estimación del riesgo ante esa amenaza. Se proponen tres tipos de vulnerabilidades: social (preparación de la comunidad), económica (estructura económica de la microcuenca) y físico espacial (infraestructura). Cada una de estas vulnerabilidades se calcula con base en unos criterios y, dependiendo de la amenaza considerada, se definen unas tablas de decisión (reglas de decisión) que permiten definir la vulnerabilidad evaluada cualitativamente (alta, moderada y baja). Una vez evaluada la vulnerabilidad se puede estimar el riesgo asociado a cada amenaza usando mapas temáticos para las amenazas y vulnerabilidades específicas. Se presenta la forma de evaluar la vulnerabilidad y posteriormente el riesgo como producto de la combinación de las diferentes amenazas y sus vulnerabilidades asociadas mediante reglas lógicas de decisión. Finalmente se presentan algunos de los resultados obtenidos con la aplicación de esta metodología a un caso particular en una cuenca urbana de la ciudad de Medellín, Colombia.

PALABRAS CLAVES: Vulnerabilidad, Riesgo, Zonificación, Planificación de Cuencas, Toma de Decisiones.

ABSTRACT

A proposal to define the vulnerability associated to each possible natural hazard in watersheds is presented. Different vulnerabilities (social, economic and physical) are defined for each hazard considered. The proposed methodology combines specific natural hazard with vulnerability indicators developed for that hazard in order to produce the estimation of risk for that specific hazard. Three types of vulnerabilities are considered: social (community awareness), economic (watershed economical activities). Each of those vulnerabilities is defined based on several criterion and using specific decision rules in form of tables. Once vulnerability is defined the risk associated to each natural hazard could be calculated by combining hazard and vulnerability maps. The proposed methodology is presented in some detail consisting in developing a risk, hazard and vulnerability maps specific for each natural hazard condition such as floods, earthquakes and land slides. Finally results obtained in an urban river basin of the city of Medellín, Colombia, are presented.

KEY WORDS: Vulnerability, Risk, Zonation, Watershed Planning and Management, Decision Support Systems.

1. INTRODUCCIÓN

El riesgo es el resultado de la combinación compleja entre dos factores, la ocurrencia de un evento probable (amenaza) y la vulnerabilidad que ante éste, tiene una comunidad y sus bienes materiales, culturales, económicos y sociales. La relación entre los dos factores y el riesgo es directa, es decir que, cualquier aumento o reducción en el valor de uno de ellos se traduce en el aumento o disminución del riesgo. Aquí sólo se considerarán amenazas de origen natural, las que generalmente no son susceptibles de reducción, por lo cual la respectiva vulnerabilidad es prácticamente la única variable modificable a fin de disminuir el riesgo.

La zonificación adecuada del riesgo para los fines del ordenamiento territorial debe contemplar el estudio de los riesgos específicos que por la acción de cada una de las amenazas identificadas, se presentan en la cuenca. Cada una de las amenazas existentes tendrá un impacto particular sobre las diferentes componentes en el sistema, lo que condicionará la definición de la vulnerabilidad; así se estará estimando el riesgo específico por acción de amenazas y vulnerabilidades específicas interrelacionadas entre sí (Universidad Nacional de Colombia, 2002). Lo anterior se traduce metodológicamente en la combinación de una amenaza específica con los indicadores de vulnerabilidad que le son propios, para producir la estimación del riesgo ante esa amenaza (Universidad Nacional de Colombia, 2002). En este trabajo se propone una metodología para la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo asociados a cada tipo de amenaza considerada, tratando de superar los problemas resaltados anteriormente.

A diferencia de ésta propuesta, la metodología tradicional de zonificación del riesgo consiste en la construcción de un único mapa de riesgo, producto de la combinación de un mapa de amenaza total y un mapa de vulnerabilidad total. Dichos mapas resultan de la ponderación de las diferentes amenazas o vulnerabilidades, según el caso, en un sólo mapa. Este esquema tiene grandes desventajas a la luz del ordenamiento territorial puesto que en general enmascaran los problemas. Muchos de los fenómenos a considerar en la amenaza y la vulnerabilidad involucran diferentes escalas temporales y espaciales, y normalmente las combinaciones no son lineales. Reunir en un sólo mapa todos los eventos puede resultar, a la luz de un proyecto concreto a evaluar, en sobreestimación o subestimación del riesgo, limitando las posibilidades de desarrollo en la zona para el primer caso o en la exposición inadecuada en el segundo. El esquema propuesto permite al planificador hacer un seguimiento más detallado de los rasgos que determinan el riesgo en la cuenca lo cual puede ser de gran utilidad en la toma de decisiones.

Generalmente los estudios de riesgo se centran en gran medida en los análisis de la amenaza asociada a esos riesgos y muy poco trabajo se encuentra en el campo de la vulnerabilidad (con excepción del área de riesgos en seguros donde se han hecho aportes importantes). En este artículo se propone una manera de calcular la vulnerabilidad ante cada posible amenaza natural y cómo se combina con esa amenaza para calcular el riesgo en cuencas hidrográficas. Se muestra un ejemplo de aplicación de la metodología propuesta en la ciudad de Medellín. Esta metodología ha sido desarrollada para el caso de micro cuencas de zonas urbanas altamente intervenidas y con grandes problemas de tipo social.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

Se entiende por amenaza (A) la probabilidad de ocurrencia de un evento natural o antrópico en un área específica dentro de un período de tiempo, que afecte desfavorablemente de manera directa o indirecta, a una comunidad o a los bienes de ésta. La amenaza se define en función de la magnitud del evento y de su recurrencia en el tiempo. En este estudio se consideraron las amenazas por inundaciones, movimientos en masa o deslizamientos y sismos.

La vulnerabilidad (V) es el grado de exposición que tiene una comunidad y sus bienes materiales ante un evento amenazante. Tal y como se define, es un concepto social y es función de la preparación, entendimiento del entorno e inhabilidad por parte de la comunidad para afrontar la acción del evento amenazante. Se disminuye al llevar a cabo obras de mitigación (estructuras civiles, educación de la comunidad, planes de prevención y de contingencia, etc.).

El riesgo (R) es el valor esperado de las pérdidas o daños cuando se considera la ocurrencia del evento amenazante ante una determinada comunidad. Se mide en términos de pérdidas de vidas humanas, heridos, daños a estructuras civiles, deterioro de la economía, en costos, etc.. Es función de la amenaza y la vulnerabilidad y han sido propuestas diferentes maneras de relacionarlas, siendo la más común:

$$R = A \times V.$$

3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Puede decirse que en las áreas urbanas existe una clara interrelación entre los procesos naturales y la actividad humana; el hombre se convierte en desencadenante de procesos cuando interviene el medio de manera desordenada, los movimientos en masa y muchas de las inundaciones de las zonas urbanas ilustran bien este concepto.

En el caso específico de las amenazas naturales consideradas acá (inundación, sismos y movimientos en masa o deslizamientos), se ha reconocido la complejidad de las interacciones entre estos fenómenos y el hábitat del hombre, así como la importancia de encaminar los estudios de las amenazas para desarrollar metodologías que sirvan de base al ordenamiento territorial. Sin embargo, esa complejidad hace difícil la estimación de las amenazas de forma integrada y se considera, como ya se ha enunciado, que la visión de las amenazas de forma independiente está más acorde con el esquema de sostenibilidad que se pretende dar a la planificación del territorio y particularmente a la zonificación del riesgo. La combinación de las amenazas independientes con las vulnerabilidades social, económica y físico-espacial específicas a cada una de ellas resultará en la zonificación de riesgos específicos.

Para justificar lo adecuado de este esquema en el ordenamiento territorial, se puede afirmar que las amenazas naturales consideradas, tienen diferentes dominios espaciales y temporales, es decir, actúan en diferentes lugares del territorio o comprometen áreas de tamaños diferenciados y así mismo tienen incidencias temporales distintas en el momento del desastre y requieren períodos diferentes para la recuperación o reconstrucción del área afectada.

No es el objetivo de este trabajo el tratamiento de las amenazas sino el de las vulnerabilidades, así que no se presenta ningún detalle sobre el cálculo de las amenazas naturales consideradas. En cada caso se usaron métodos muy reconocidos en ingeniería para el cálculo de esas amenazas. La definición de la amenaza por inundaciones involucra estudios hidráulicos e hidrológicos que permitan finalmente definir las manchas de inundación para diferentes periodos de retorno y mapas de niveles y velocidades de flujo, con los cuales se puede construir el mapa de amenaza por inundación. En el caso de la amenaza por movimientos en masa o deslizamientos se deben hacer estudios que permitan definir mapas de unidades superficiales y geomorfológicas con los cuales se construyen progresivamente los mapas de zonas homogéneas y morfodinámicas, a partir del cual se puede construir el mapa de amenaza por movimientos en masa. En el caso de la amenaza por sismos esta se basa en la microzonificación sísmica que existe en algunas de las ciudades de Colombia.

4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La forma en que los seres humanos entienden, conviven, enfrentan y son afectados por las amenazas, depende a su vez de variables tan diversas como la economía, la interacción con otras personas o grupos sociales, las creencias religiosas y políticas, los conflictos armados y su postura ante ellos, la educación, la edad, el sexo, etc. Estas condiciones humanas hacen que cada grupo social sea más o menos vulnerable a la ocurrencia de eventos amenazantes y determinan la manera de aproximarse al conocimiento de dicha vulnerabilidad.

A continuación se establecen los criterios a evaluar para estimar la vulnerabilidad específica que tiene una comunidad y la infraestructura existente ante los eventos amenazantes mencionados.

- **Vulnerabilidad social:** es función principalmente del grado de organización de la comunidad y del bienestar y conformación de la misma. Esa función se establece con base en parámetros como número de personas por familia y su estabilidad como grupo humano, número y tipo de organizaciones comunitarias que existan, tales como juntas de acción comunal, brigadas de prevención y atención de desastres, grupos de bomberos comunitarios, infraestructura hospitalaria, nivel educativo, movimientos de solidaridad, movimientos y organizaciones religiosas, diferentes tipos de asociaciones (incluidos desde clubes sociales hasta sindicatos y asociaciones mutuales y cooperativas), etc y su interacción con las organizaciones a nivel regional.
- **Vulnerabilidad económica:** es función de las condiciones económicas de la comunidad y de los individuos que la componen, y de la posibilidad de recuperarse con esas condiciones a los distintos eventos cuyas secuelas pueden prolongarse por períodos de tiempo diferentes. Esa función se establece con base en parámetros como número de personas empleadas, tipo de empleo, importancia de la comunidad o la región en el ámbito productivo municipal, departamental, nacional o internacional, etc. El conocimiento de dichas características permitirá la evaluación de la vulnerabilidad de manera cualitativa.
- **Vulnerabilidad físico espacial:** es función del estilo y tipo constructivo de las edificaciones y obras de infraestructura. Esa función se establece con base en parámetros como diseños ingenieriles según la norma vigente y así mismo, materiales y técnicas de construcción adecuados y acordes con los diseños e importancia de las obras, cumplimiento de las normas técnicas establecidas para el correcto funcionamiento de las mismas, estudios de suelos y estabilidad de laderas, etc.

Propuesta Metodológica

Se propone una metodología encaminada a estimar los grados de exposición social, económica y físico-espacial ante cada una de las amenazas naturales específicas, de tal manera que se consideren tantas implicaciones y consecuencias como sea posible, ante la ocurrencia de un evento natural en un lugar y tiempo dados y se haga una mejor utilización y/ o planificación del territorio por parte de las comunidades asentadas allí.

Para tal fin, se definen inicialmente los ya mencionados dominios espacial y temporal de las amenazas y se identifican las condiciones sociales que se les relacionan y determinan la vulnerabilidad ante ellas. Por ejemplo, la vulnerabilidad ante un sismo está en función, entre otras cosas, del tipo de edificación, su ubicación, y el número de personas que la habiten, de la existencia de brigadas de socorro y planes de contingencia y de la capacidad de recuperarse de las pérdidas de vidas y bienes materiales que puedan presentarse, mientras que la vulnerabilidad ante un evento de inundación está, entre otros factores, en función de la proximidad a los cauces, de la existencia de alarmas y planes de evacuación hacia lugares elevados y alejados, y de la altura y tipo constructivo de las edificaciones asentadas en las riberas de las corrientes y cauces de drenajes naturales.

Adicionalmente, el dominio geográfico de la amenaza al sismo es, en general, más amplio que el dominio espacial de la amenaza de inundación, lo que consecuentemente condiciona la vulnerabilidad ante ellos y el dominio temporal es más grande pues en general la recuperación de un evento sísmico puede prolongarse por más tiempo.

Operativamente la propuesta se traduce en la clasificación de cada una de las vulnerabilidades para cada una de las amenazas evaluadas en Baja, Moderada o Alta. Cada vulnerabilidad presenta los criterios pertinentes a ser considerados, su evaluación y clasificación cualitativa para cada amenaza. Como resultado se obtendrá un mapa para cada vulnerabilidad ante cada amenaza.

La conformación de un mapa de vulnerabilidad ante cada amenaza requiere de la adecuada combinación de los criterios evaluadores para lo cual la propuesta metodológica se basa en reglas lógicas de decisión, tal que se consideren la

importancia y jerarquía de los criterios en la definición de la vulnerabilidad, medida principalmente en pérdidas humanas y en capacidad de recuperación social. Las reglas de decisión para la evaluación de la misma vulnerabilidad ante diferentes amenazas pueden involucrar diferentes criterios evaluadores y en diferentes ordenes jerárquicos, como se precisará en cada caso.

Las reglas son elaboradas con base en el conocimiento, experiencia y criterio de los especialistas, apoyados en talleres interdisciplinarios de evaluación y aplicación de las reglas de decisión propuestas a casos concretos, hipotéticos y posibles. Se presenta a continuación la metodología propuesta, basada en reglas de decisión, para definir las vulnerabilidades social, económico y físico espacial.

4.1. VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad social hace referencia al grado de debilidad o fortaleza social de una comunidad, para afrontar la ocurrencia de un evento desastroso. Los factores de vulnerabilidad social buscan determinar el grado de organización y cohesión interna de las comunidades y su capacidad para prevenir, mitigar o responder a situaciones de desastre.

Para determinar el nivel de vulnerabilidad social en una microcuenca, se construyen diferentes mapas temáticos estimados a partir de indicadores. Los indicadores se estiman a partir de una encuesta socioeconómica a realizarse en las zonas de amenaza. Los indicadores considerados dan cuenta de procesos sociales diferentes en la cuenca, determinantes de la capacidad de respuesta de la comunidad ante cada una de las amenazas existentes, por lo cual para la evaluación del riesgo asociado a cada una de esas amenazas, los indicadores se reclasificarán para representar adecuadamente las vulnerabilidades en el dominio geográfico y temporal.

Indicadores de Vulnerabilidad Social

Educación. Se refiere al grado de instrucción de un grupo poblacional y sus niveles de formación y capacitación formal y no formal, con respecto al conocimiento de la naturaleza, la ocurrencia y prevención de desastres. Se consideran parámetros como los siguientes:

- Grado de escolaridad de los jefes de hogar.
- Índice de ausentismo escolar. Identifica la población que estando en edad primaria y /o secundaria de asistir a la escuela no lo hacen.
- Programa de educación y prevención de desastres. Busca determinar el nivel de preparación, organización y operatividad en planes y comités escolares para la prevención de desastres.
- Programa de educación en salud. Población que ha recibido algún tipo de capacitación relacionada con la educación en salud y/o primeros auxilios.

Factor poblacional. Caracteriza la población por grupos de edad, su densidad y grado de hacinamiento, en relación con una región determinada o área geográfica. Para la medición de este factor se toman en cuenta las siguientes variables:

- Densidad de la población. Permite medir la distribución de la población en una zona determinada (número de personas por hectárea).
- Característica etáreas de la población. Se busca establecer la estructura de la población por grupos de edad, determinar dentro de ella el grupo predominante y su propensión o vulnerabilidad ante la ocurrencia de un evento desastroso.
- Número de hogares por vivienda.
- Número de personas que habitan por vivienda.

Factor organizativo comunitario. Con este factor se busca tener un acercamiento respecto a la dinámica organizativa de las comunidades localizadas en las zonas de estudio, su niveles de interacción con otras organizaciones del Estado y su capacidad para formular, ejecutar y hacerle seguimiento a programas en prevención, mitigación de riesgos y atención de desastres.

Criterios Evaluadores de la Vulnerabilidad Social

Los criterios indicativos para la clasificación de la vulnerabilidad social en Alta, Media o Baja, están relacionados con el impacto que sobre la vulnerabilidad tienen los dominios espacial y temporal de cada una de las amenazas en consideración.

Los indicadores de la vulnerabilidad se definirán con base en las encuestas a realizar en las zonas diagnosticadas como de amenaza alta por inundación, sismo o deslizamientos, y serán referidas a la unidad de barrio en la microcuenca. La información secundaria disponible en los barrios y en las microcuencas referentes a la variable social, servirá como soporte a la evaluación de los indicadores.

En las Tablas 1 a 3 se presentan los criterios de evaluación de la vulnerabilidad social y las reclasificaciones según el tipo de amenaza donde sea necesario.

TABLA 1.
Criterios de Evaluación de vulnerabilidad social. Indicador Población

Vulnerabilidad Social	Criterios evaluadores	Vulnerabilidad		
		Amenaza por inundación	Amenaza por Sismo	Amenaza por Movimiento en Masa
Población				
Densidad de población Hab/ha	Entre 301 y 400	A	A	A
	Entre 201 y 300	A	A	A
	Entre 1 y 200	M	M	M
Características de la población por grupos de edad	Menores de 14 años	A		A
	Mayores de 64 años	A		A
	Si la población Menores de 14 años, Mayores de 64 años o la suma de ambas es superior al 45%	A	A	A
	De 40 a 64 años	M		M
	De 15 a 43 años	M		M
Número de personas por vivienda	Menos de 4 personas	M	M	M
	de 5 a 8 personas	A	A	A
	más de 8 personas	A	A	A

(*) A: Alta; M: Media; B: Baja

TABLA 2.
Evaluadores de vulnerabilidad social. Indicador Organización Comunitaria

Criterios evaluadores	Vulnerabilidad		
	Amenaza por inundación	Amenaza por Sismo	Amenaza por Movimiento en Masa
Organización Comunitaria			
Interactúan con organismos de socorro y/o con el Sistema Municipal de Prevención.(comités de emergencia)	B	M	M
Interactúan con otras organizaciones del sector, incluyendo el educativo	M	A	M
Organizaciones que actúan independientemente de las demás y no tienen ningún plan de emergencias y desastres	A	A	A

TABLA 3.
Evaluadores de vulnerabilidad social. Indicador Educación

Indicador Social	Criterios evaluadores	Vulnerabilidad			
		Amenaza por inundación	Amenaza por Sismo	Amenaza por Movimiento en Masa	
Educación					
Grado de escolaridad de los jefes de hogar	Primaria completa	M		M	
	Algún grado de primaria	A		A	
	Sin ningún grado de escolaridad	A		A	
Cobertura educativa en básica primaria y básica secundaria	En básica primaria	Si existe un porcentaje mayor del 30% de niños que están por fuera del sistema educativo	A	A	
		Entre 20 y 30%	A	A	
		Menor del 10%	M	M	
	En básica secundaria	Si existe un porcentaje mayor de 30% de jóvenes que están por fuera del sistema educativo	A		A
		Entre 20 y 30%	M		M
		Menor del 10%	M		M
Plan y programa en educación y prevención de desastre a nivel escolar	Sin formular	A		A	
	Formulado sin implementar	A		A	
	En ejecución	M		M	

Reglas de decisión para la Vulnerabilidad Social

En las Tablas 4 a 6 se presentan las reglas de decisión para evaluar la vulnerabilidad social ante cada una de las amenazas. Cada columna de la tabla presenta una de las posibles combinaciones que según los indicadores evaluados permitirán establecer una evaluación de la vulnerabilidad.

En todos los casos de evaluación de las vulnerabilidades (social, económica y físico espacial) se seguirá la misma metodología de decisión, donde el proceso de construcción de las reglas se basó en un ejercicio de jerarquización de la importancia que sobre la vulnerabilidad tienen los diferentes indicadores. Por ejemplo el indicador *Grupos Etéreos* puede ser determinante durante la inundación, sin embargo durante un evento sísmico la población de todas las edades puede ser igualmente afectada o, en otras palabras, no hay ventajas comparativas de resistencia ante el evento para los adultos sobre los ancianos o niños.

La estructura de las tablas que contienen las reglas de decisión siguen el siguiente esquema: En la primera columna de la Tabla 4, donde se presenta la vulnerabilidad social ante la inundación, se tiene que es suficiente con que el indicador *Número de personas por vivienda*, sea Alto (A), para que la vulnerabilidad se considere Alta (A). En la segunda columna, se evalúa el caso en que el indicador mencionado sea Moderado (M) en combinación con otros indicadores.

TABLA 4.
Reglas de decisión para la vulnerabilidad social ante la inundación

Clasificación de vulnerabilidad social ante la inundación			
Densidad de población		A - M	M
Grupos etéreos		A	M
Número de personas por vivienda	A	M	M
Organización comunitaria		A	M
	A	A	M

TABLA 5.
Reglas de decisión para la vulnerabilidad social ante el sismo

Clasificación de vulnerabilidad social ante el sismo		
Densidad de población	A	M
Organización comunitaria	A	M
	A	M

TABLA 6.
Reglas de decisión para la vulnerabilidad social ante el movimiento en masa

Clasificación de vulnerabilidad social ante el movimiento en masa									
Densidad de población	A	A	A	A	A	M	M	M	M
Organización comunitaria	A	M	M	A	A	M	B		
Número de personas por vivienda	A	A	A	M	A	M	M	M	A
Grado de escolaridad del jefe de hogar	A	M		M	M	M	B	A	A
	A	A	A	M	A	M	B	M	A

4.2. VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Determina la capacidad de respuesta de habitantes y comunidad en su conjunto para atender con medios propios acciones de prevención y mitigación o en casos más desafortunados los efectos de un desastre, por sismo, inundación y/o deslizamiento.

Para determinar el nivel de vulnerabilidad económica de la población en el marco de análisis (zonas de amenaza de la microcuenca), se utilizan factores susceptibles de ser valorados como: usos y tenencia de vivienda o predio, ingreso y empleo. A continuación se definen las variables que componen dichos factores con sus unidades de medida, forma de cálculo y nivel cualitativo de vulnerabilidad.

Indicadores de Vulnerabilidad Económica

- **Ingreso.** Mide la capacidad económica de las familias de un asentamiento para prevenir, soportar o afrontar los efectos de una amenaza natural.
- **Ingreso familiar (Yf).** Conformado por los ingresos monetarios percibidos por los hogares, valorados en salarios mínimos mensuales legales vigentes.
- **Empleo.** Se refiere a la estructura de empleo y posibilidades de acceso a fuentes de trabajo que caracterizan a una comunidad. Es medido a través de dos componentes:
 - √ **Índice dependencia (IDp).** Establece la relación entre el número de personas activas de la familia con empleo y las personas activas desocupadas.
 - √ **Índice desempleo (ID).** Es la proporción de la población económicamente activa que se encuentra desempleada.
- **Uso y tenencia de la vivienda o predio.** Se refiere a los usos y características de tenencia de la vivienda o predio en una comunidad, urbana o rural según sea el caso. Sus variables a calcular son:
 - √ **Usos de la vivienda (Uva).** Determina la relación de las viviendas o predios con algún tipo de negocio (ya sea famiempresa, microempresa, explotación agrícola o pecuaria) sobre el total de viviendas o predios, dependiendo si se encuentran en suelo urbano o rural respectivamente.
 - √ **Tenencia de la vivienda.** Muestra la proporción de la forma de apropiación de la vivienda: propia, en arriendo, invasión y otra forma (por donación, préstamos).

Criterios Evaluadores de la Vulnerabilidad Económica

Los criterios indicativos para la clasificación de la vulnerabilidad económica en Alta, Media o Baja, están relacionados con el impacto que sobre la vulnerabilidad tienen los dominios espacial y temporal de cada una de las amenazas en consideración.

Los indicadores de la vulnerabilidad se definirán con base en las encuestas ha realizarse en las de amenaza en la microcuenca. La información secundaria disponible en los barrios o veredas referentes a la variable económica, servirá como soporte a la evaluación de los indicadores.

En la Tabla 7 se presentan los criterios de evaluación de la vulnerabilidad económica y las reclasificaciones según el tipo de amenaza donde sea necesario. Estos criterios evaluadores para la vulnerabilidad económica son considerados igualmente importantes dentro de cada una de las amenazas. Sin embargo, entre amenazas estos mismos indicadores reciben una calificación distinta, debido a que las posibles pérdidas económicas difieren mucho si se trata de un sismo, una inundación o un deslizamiento.

TABLA 7.
Criterios evaluadores de vulnerabilidad económica. Todos los Indicadores

Criterios Evaluadores	Vulnerabilidad		
	Amenaza por Inundación	Amenaza por Sismo	Amenaza por Movimiento en Masa
Indicador Ingreso familiar			
Si en promedio la población devenga ingresos familiares menores o iguales a 2 smmlv su vulnerabilidad se considera:	A	A	A
Si en promedio la población devenga ingresos familiares entre 2 y 3 smmlv su vulnerabilidad se considera:	A	A	A
Si en promedio la población devenga ingresos familiares entre 3 y 4 smmlv su vulnerabilidad se considera:	M	A	A
Indicador Dependencia			
Si en promedio la población de jefes de hogar cuenta con 4 o mas dependientes, su vulnerabilidad se considera:	A	A	A
Si en promedio la población de jefes de hogar cuenta con 3 dependientes su vulnerabilidad se considera:	A	A	A
Si en promedio la población de jefes de hogar cuenta entre 1 y 2 dependientes su vulnerabilidad se considera:	M	A	A
Indicador Desempleo			
Si en promedio el índice de desempleo de la PEA es igual o superior al 20% entonces su vulnerabilidad se considera:	A	A	A
Si en promedio el índice de desempleo de la PEA esta entre el 10% y el 20% entonces su vulnerabilidad se considera:	M	M	M
Si en promedio el índice de desempleo de la PEA es igual o inferior al 10 % entonces su vulnerabilidad se considera:	B	M	M
Indicador Uso de la vivienda o predio			
Si en promedio el uso de la vivienda o predio es industrial la vulnerabilidad del sector se considera:	A	A	A
Si en promedio el uso de la vivienda o predio es residencial productivo la vulnerabilidad del sector se considera:	A	A	A
Si en promedio el uso de la vivienda es residencial comercial la vulnerabilidad del sector se considera:	A	A	A
Si en promedio el uso de la vivienda es residencial con prestación de servicios la vulnerabilidad del sector se considera:	M	A	M
Indicador Tenencia de la vivienda o predio			
Si en promedio la forma de tenencia de la propiedad es propietario la vulnerabilidad del sector se considera:	A	A	A
Si en promedio la forma de tenencia de la propiedad es poseedor la vulnerabilidad del sector se considera:	M	A	A
Si en promedio la forma de tenencia de la propiedad es arrendatario la vulnerabilidad del sector se considera:	B	M	M

* El sector se considera como barrio en la zona urbana y, vereda en la zona rural

Propietario: quien posee documento de compraventa o escritura

Poseedor: quien es ocupante de hecho (invasor) o en usufructo (prestada)

Reglas de decisión para la Vulnerabilidad Económica

Para la evaluación de la vulnerabilidad económica, a diferencia de las otras vulnerabilidades, se considerará que todos los criterios evaluadores son igualmente importantes en su definición, así las reglas de decisión para la conformación del mapa de vulnerabilidad económica ante cada amenaza son las siguientes.

- Si los cinco criterios evaluadores económicos son altos, independientemente del tipo de amenaza, la vulnerabilidad económica se considera alta (A).
- Si los cinco criterios evaluadores económicos son moderados, independientemente del tipo de amenaza, la vulnerabilidad económica se considera moderada (M).

- Si de los cinco criterios evaluadores económicos a lo máximo dos de ellos (1 ó 2) son moderados o bajos y los restantes son altos, independientemente del tipo de amenaza, la vulnerabilidad económica se considera alta (A).
- Si de los cinco criterios evaluadores económicos al menos tres de ellos (3 ó 4) son moderados y los restantes son altos, independientemente del tipo de amenaza, la vulnerabilidad económica se considera moderada (M).
- Si de los cinco criterios evaluadores económicos a lo máximo dos de ellos (1 ó 2) son bajos y los restantes son moderados, independientemente del tipo de amenaza, la vulnerabilidad económica se considera moderada (M).
- Si de los cinco criterios evaluadores económicos al menos tres de ellos (3 ó 4) son bajos y los restantes son moderados, independientemente del tipo de amenaza, la vulnerabilidad económica se considera baja (B).
- Si de los cinco criterios evaluadores económicos al menos tres de ellos (3 ó 4) son bajos y los restantes son altos, independientemente del tipo de amenaza, la vulnerabilidad económica se considera moderada (M).

4.3. VULNERABILIDAD FÍSICO ESPACIAL

La vulnerabilidad físico espacial se refiere a la localización de los asentamientos humanos en zonas de amenaza y a las deficiencias en las estructuras físicas existentes allí para "absorber" los efectos de las amenazas consideradas (Secretaría de Planeación Metropolitana, 1998).

La vulnerabilidad física se da por dos causas básicas:

- **Ubicación:** la ubicación de las áreas urbanas sobre zonas que estén o puedan estar bajo amenaza.
- **Condiciones de la construcción:** se refiere a la capacidad de las construcciones o infraestructura urbana, de soportar un fenómeno adverso.

Metodológicamente, el análisis de la vulnerabilidad físico espacial en una microcuenca requiere de la estimación de los factores de amenaza en la zona de estudio, en cuanto el dominio geográfico y espacial de ésta, condiciona el grado de exposición de los asentamientos y su infraestructura, así como la dinámica geográfica y temporal de los elementos en exposición.

Los factores de vulnerabilidad son evaluados de manera cualitativa a partir de trabajo de campo. Como unidad de análisis se tomaron las unidades morfológicas homogéneas desde el punto de vista urbanístico, trascendiendo así la noción del barrio. Se considera que una misma morfología puede repetirse indefinidamente a lo largo de una microcuenca y si bien algunos barrios se pueden encontrar en procesos primarios de formación, la génesis de la morfología llega o puede llegar a ser determinante en la consolidación de un determinado barrio.

Indicadores de Vulnerabilidad Físico Espacial

- Forma Urbana. Corresponde con la morfología de los sectores analizados. Para el análisis de vulnerabilidad se consideraron los siguientes criterios de evaluación:
 - ✓ Urbanización planificada. Se trata de todas aquellas urbanizaciones que han sido concebidas y construidas en su totalidad, que durante todo el proceso siguieron las normativas propuestas por la Oficina de Planeación Municipal y que se encuentran debidamente legalizadas ante esta dependencia
 - ✓ Áreas urbanas desarrolladas sin claros procesos de planificación. Se incluyen en este criterio todas aquellas urbanizaciones que si bien fueron legalizadas y construidas, como urbanización, las edificaciones no contaron con los mismos rigores de aplicación y control, son edificaciones que han evolucionado a lo largo del tiempo, pueden encontrarse legalizadas y algunas pueden contar con planos aprobados. Registran por lo general mayores densidades de ocupación del suelo y en algunos casos, registran índices de construcción por encima de los aprobados por la Oficina de Planeación Municipal.

- ✓ Procesos de invasión. Se cuenta a este nivel con aquellas áreas urbanas que no cuentan con procesos de planificación, es decir, se han desarrollado de manera espontánea y/o con muy bajos niveles de urbanización. Por su conformación, son áreas que registran altos índices de ocupación del suelo y tienden hacia un crecimiento en altura con muy bajos controles de aplicación.
- ✓ Normas Sismorresistentes. Definidos estos criterios se aplicó un nuevo criterio concerniente a la aplicabilidad de normas sismorresistentes, pues se considera este parámetro como fundamental en la determinación del riesgo ante amenazas de sismo, inundación y deslizamiento. Éste parámetro presenta dos períodos bien marcados, las edificaciones realizadas antes de la aparición del primer código y aquellas construidas luego de la norma sismorresistente, NSR-98, vigente desde el año 1998.

Así las cosas, se definen tres nuevos criterios de análisis de la vulnerabilidad:

- o Áreas urbanas construidas antes de 1980, donde se supone que no existen criterios sismorresistentes en el diseño estructural
 - o Áreas urbanas construidas entre 1980 y 1998, periodo concerniente al primer código
 - o Áreas urbanas construidas luego de la aparición de la Norma Sismorresistente, NSR-98.
- Estructura urbana. Corresponde con la estructura de funcionamiento de cada uno de los barrios y de la morfología que ellos generan. Se proponen los siguientes criterios de evaluación:
 - ✓ Presencia de al menos una centralidad. Conformada de preferencia, por espacios públicos efectivos, a los cuales la población pueda acudir en caso de la ocurrencia de algún evento. La eventualidad que este espacio sea ocupado bien por la inundación o por un deslizamiento agravaría las condiciones de vulnerabilidad. Por tal motivo, es necesario tener en cuenta no solo la localización del espacio público sino el tamaño de éste, ante el número de población que podría llegar a albergar.
 - ✓ Inexistencia de centralidades. De preferencia conformadas por espacios públicos efectivos o centralidades reconocidas y validadas por la población. Debe incluirse en este criterio la ineficiencia por tamaño o por localización con respecto a la ocurrencia de eventos de inundación o deslizamiento.
 - Accesibilidad. Se determina como la facilidad con que se cuenta para evacuar o atender en caso de ocurrencia de algún evento. Se determinan los siguientes criterios de evaluación:
 - ✓ Articulación con un sistema vial, al menos por una vía arteria. Se considera este tipo de vías por su dimensionamiento, su reconocimiento por parte de la población, porque cuenta con las principales rutas de transporte que irrigan la microcuena y sus especificaciones técnicas las hacen menos vulnerables. La presencia de amenazas de deslizamientos sobre el sistema arterial lo descalifica ante la eventualidad de este fenómeno.
 - ✓ Articulación con el sistema vial, al menos por una vía colectora. Su clasificación es diferente pues no necesariamente son vías que cuentan con diseños viales para soportar algunos eventos e igualmente no necesariamente cuentan con especificaciones para garantizar una rápida atención o evacuación en caso de ocurrencia de algún evento.
 - ✓ Desarticulado. Se considera cuando el sector no cuenta con formas claras de articulación, cuando su conexión depende de vías de servicio o cuando los sistemas colectores y arteriales se encuentran expuestos a amenazas sísmicas, hidrológicas o de deslizamiento y la atención a la comunidad se hace difícil, como ocurrió en el caso de Villatina, Medellín, Colombia, en el año 1998.
 - ✓ Presencia de transporte público, con varias rutas. Los espacios de circulación del transporte público son de alto reconocimiento por parte de los pobladores y pueden llegar a servir de rutas de evacuación, así no se trate de vías colectoras o arteriales. La presencia de transporte público facilita la evacuación, así no garantice la atención en caso de ocurrencia de un evento.
 - ✓ Ausencia de transporte. En caso que no se cuente con sistemas masivos (bus, metro), o carezca totalmente de sistemas ágiles de movilización masiva de la población.

- **Áreas articuladoras.** Corresponde con la presencia de espacios públicos efectivos a nivel de las zonas homogéneas. Se parte del parámetro establecido por el Decreto 1504/98, donde se determina que el espacio público efectivo como aquel de carácter permanente, conformado por zonas verdes, parques plazas y plazoletas, el cual debe alcanzar un mínimo de 15 m² por habitante. La importancia de este espacio, ante el caso de ocurrencia de un evento se centra en la posibilidad de la población a desplazarse a un lugar seguro, reconocido y validado por la población. Así, se determinan los siguientes criterios de evaluación:
 - √ Presencia de más de un espacio público efectivo. Cuando el espacio efectivo se encuentra disperso en la morfología, se generan mejores posibilidades de desplazamiento hacia este tipo de lugares, disminuyendo las condiciones de riesgo para la población en el caso de eventos sísmicos principalmente y en segundo lugar en el caso de eventos de deslizamiento o inundación.
 - √ Presencia de al menos un espacio público efectivo. En el caso de que este se encuentre concentrado en un sólo lugar, llega a dificultarse la accesibilidad a él, sin embargo su presencia garantiza la posibilidad al menos para una parte de la población de poder refugiarse en los momentos críticos.
 - √ Ausencia de espacios públicos efectivos. Se considera la ausencia cuando realmente no existen sobre la morfología o en un área inmediata a ella, o cuando estos espacios se encuentran sometidos en una proporción considerable (mas del 50%) a amenazas de inundación o deslizamiento.
- **Equipamiento.** Se refiere a la presencia de iglesias, escuelas, atención en salud, recreación y cultura. Para efectos de dimensionamiento del riesgo, sólo se considera la presencia de establecimientos educativos y/o atención en salud, pues en general se cuenta con áreas bajo cubierta que presentan niveles de vulnerabilidad diferentes a los centros de culto o equipamientos culturales, por sus mismos principios de diseño arquitectónico y estructural. Los criterios se deben analizar bajo la presencia de amenazas de sismo, inundación, deslizamiento y sanitario, por tal motivo se definieron los siguientes criterios:
 - √ Presencia de la menos un equipamiento de salud y/o educación, por fuera de las áreas de amenaza.
 - √ Ausencia total de equipamientos de educación y/o salud. Se considera que su localización en áreas de amenaza alta, es comparable con la ausencia total del equipamiento.
- **Infraestructura básica de servicios.**
 - √ **Energía eléctrica.** Aunque se considera el sistema como de baja vulnerabilidad ante las amenazas de inundación, sismo y deslizamiento, las formas como se realizan las instalaciones modifican el comportamiento del riesgo y el aprovechamiento que dan las comunidad a las redes puede llegar a acentuar las características del evento. Se definen así los siguientes criterios:
 - Mas del 20% de las edificaciones de la morfología con conexiones piratas
 - Mas del 50% de las edificaciones de la morfología contando con conexiones formales
 - La cobertura formal es igual al 100%
 - √ **Acueducto.** Las redes deben evaluarse en cuanto a la actualización, si se cuenta con redes de PVC, asbesto o si se cuenta con redes informales, es decir mangueras de plástico, acequias u otro tipo de conducción informal.
 - √ **Alcantarillado.** Se analiza bajo los criterios de formalidad e informalidad de los sistemas
 - √ **Transporte de hidrocarburos.** Se considera la presencia o no de la infraestructura, bien sea por el área de la morfología o en sus inmediaciones.
 - √ **Vías.** Las vías solo se analizan ante las amenazas de inundación y deslizamiento, pues ante estas amenazas, las condiciones de las vías pueden llegar a facilitar la evacuación o acentuar los efectos del evento. A pesar que su análisis se relaciona con los aspectos de accesibilidad, es necesario tener en cuenta otros criterios como son:
 - Predominancia de vías de pendientes suave a moderada, entre 0% y 10%.

- Predominancia de vías de pendientes moderadas a altas. Entre 10% y 30%
- Predominancia de vías con pendientes altas a fuertes. Superiores al 30%.
- √ Edificaciones. Las tipologías solo son analizables en el caso de las amenazas sanitarias, pues para los fenómenos sísmicos, de inundación y deslizamiento, el análisis de la morfología urbana incluye la tipología de la construcción. Sin embargo en el primero de los casos, la morfología urbana puede considerarse independiente, siendo de mayor impacto los niveles de densidad de ocupación y de construcción, independientemente de si se trata de urbanizaciones formales, informales o de invasión.
- √ Los usos del suelo. Se observa necesario involucrar este parámetro en el análisis de las diferentes amenazas, a partir de los siguientes criterios:
 - Predominio del uso residencial
 - Predominio del uso industrial con presencia de industrias químicas
 - Predominio de uso industrial sin presencia de industrias químicas
 - Predominio del uso comercial
 - Predominio de usos agrosilvopastoriles.

Criterios Evaluadores de la Vulnerabilidad Físico Espacial

En las Tablas 8 a 10 se presentan los criterios evaluadores asociados con la vulnerabilidad Físico Espacial.

TABLA 8.

Criterios evaluadores de la vulnerabilidad físico espacial ante inundaciones.

Criterios evaluadores		Vulnerabilidad Físico Espacial ante la amenaza de inundación	
Área Urbana	Forma	Urbanización planificada	B
		Áreas urbanas desarrolladas sin claros controles urbanísticos	M-A
		Procesos de invasión	A
	Estructura	Sin centro	A
		Con al menos un (1) centro	M
	Accesibilidad	Articulación con sistema vial al menos por una vía arteria	B
		Articulación con sistema vial al menos por una vía colectora	M
		Articulación con sistema vial por mas de una vía	B
		Desarticulado del sistema vial	A
		Presencia de transporte público con varias rutas	B
		Presencia de transporte público con una ruta	M
		Ausencia de transporte	A
	Vías	Pendientes suaves a moderadas 0% - 10%	A
Pendientes moderadas a altas 10% - 30%		A	
Pendientes altas a fuertes >30%		B	
Presencia de al menos un espacio público efectivo		M	
Espacio público	Áreas Articuladoras	Presencia de mas de un espacio público efectivo	B
		Ausencia de espacio público efectivo	A
		Presencia De retiros de quebradas	M
		Ausencia de retiros de quebradas	A
	Equipamiento	Presencia de al menos un equipamiento en educación y/o salud	M
		Ausencia de equipamiento en educación y/o salud	A
	Infraestructura de servicios Básicos	ENERGÍA ELÉCTRICA. Conexión pirata o informal > 30%	A
		Conexión pirata o informal < 35%	M
		Redes subterráneas	B
		ALCANTARILLADO. Redes formales anteriores a 1995	M
		Redes formales posteriores a 1995	B
		Redes informales (tomos artesanales piratas)	A
	Edificaciones	Usos	Predominio Uso Residencial
Predominio Uso Industrial química			M
Predominio Uso Industrial			M
Predominio Uso Comercial			M
Uso Agrosilvopastoril			B

TABLA 9.
Criterios evaluadores de la vulnerabilidad físico espacial ante sismos.

Criterios evaluadores		Vulnerabilidad Físico Espacial ante la amenaza de Sismo		
Área Urbana	Forma	Urbanización planificada	B	
		Áreas urbanas desarrolladas sin claros controles urbanísticos	A	
		Procesos de invasión	A	
		Áreas urbanas anteriores a 1980	A	
		Áreas urbanas anteriores 1980 - 1998	M	
		Áreas urbanas anteriores > 1998	B	
	Estructura	Sin centro	A	
		Con centro	M	
	Accesibilidad	Articulación con sistema vial al menos por una vía arteria	B	
		Articulación con sistema vial al menos por una vía colectora	M	
		Articulación con sistema vial por mas de una vía	M	
		Desarticulado del sistema vial	A	
		Presencia de transporte público con varias rutas	B	
		Presencia de transporte público con una rutas	M	
		Ausencia de transporte	A	
	Espacio público	Áreas Articuladoras	Presencia de al menos un espacio público efectivo	M
			Presencia de mas de un espacio público efectivo	B
			Ausencia de espacio público efectivo	A
Equipamiento		Presencia de al menos un equipamiento en educación y/o salud	M	
		Ausencia de equipamiento en educación y/o salud	A	
Infraestructura de servicios Básicos		ENERGÍA ELÉCTRICA		
		Conexión pirata o informal > 20%	A	
		Conexión formal > 50%	M	
		Conexión formal =100%	B	
		ACUEDUCTO		
		Redes formales posteriores a 1995	B	
		Redes formales anteriores a 1995	M	
		Redes informales (tomas artesanales piratas)	A	
		Alcantarillado		
		Redes formales posteriores a 1995	B	
		Redes formales anteriores a 1995	M	
		Redes informales (tomas artesanales piratas)	A	
		Redes de transporte o almacenamiento de hidrocarburos		
Existe urbana	A			
Existe rural	M			
No existe	B			
Edificaciones	Usos	Predominio Uso Residencial	A	
		Predominio Uso Industrial química	A	
		Predominio Uso Industrial		
		Predominio Uso Comercial	M	
		Agrosilvopastoril	B	

Fuente: El proyecto. Universidad Nacional. 2002.

TABLA 10.

Criterios evaluadores de la vulnerabilidad físico espacial ante movimientos en masa.

Criterios evaluadores		Vulnerabilidad Físico espacial ante la amenaza de Movimiento en Masa		
Área Urbana	Forma	Urbanización planificada	M	
		Áreas urbanas desarrolladas sin claros controles urbanísticos	A	
		Procesos de invasión	A	
		Áreas urbanas anteriores a 1980	A	
		Áreas urbanas anteriores 1980 - 1998	M	
	Estructura	Áreas urbanas anteriores > 1998	B	
		Sin centro	A	
	Accesibilidad	Con centro	M	
		Articulación con sistema vial al menos por una vía arteria	M	
		Articulación con sistema vial al menos por una vía colectora	A	
		Articulación con sistema vial por mas de una vía	B	
		Desarticulado del sistema vial	A	
		Presencia de transporte público con varias rutas	B	
		Presencia de transporte público con una ruta	M	
		Ausencia de transporte	A	
Espacio público		Vías	Pendientes suaves a moderadas 0% - 10%	B
			Pendientes moderadas a altas 10% - 30%	M
	Pendientes altas a fuertes >30%		A	
	Presencia de senderos		M	
	Ausencia de sendero		A	
	Áreas Articuladoras	Presencia de al menos un espacio público efectivo	M	
		Presencia de mas de un espacio público efectivo	B	
		Ausencia de espacio público efectivo	A	
		Equipamiento	Presencia de al menos un equipamiento en educación y/o salud	M
			Ausencia de equipamiento en educación y/o salud	A
Infraestructura de servicios Básicos	ENERGÍA ELÉCTRICA			
	Conexión pirata o informal > 50%	A		
	Conexión formal < 50%	M		
	Conexión formal = 100%	B		
	ACUEDUCTO			
	Redes formales anteriores a 1995	M		
	Redes formales posteriores a 1995	B		
	Redes informales (tomas artesanales piratas)	A		
	ALCANTARILLADO			
	Redes formales anteriores a 1995	M		
	Redes formales posteriores a 1995	B		
	Redes informales (tomas artesanales piratas)	A		
	TELEFONIA			
	Existencia de redes análogas u opticas	B		
	Inexistencia	M		
REDES DE TRANSPORTE O ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS				
Existe urbana	A			
Existe rural	M			
No existe	B			
Edificaciones	Usos	Predominio Uso Residencial	A	
		Predominio Uso Industrial química	A	
		Predominio Uso Industrial	M	
		Predominio Uso Comercial	M	
		Agrosilvopastoril	M	

Reglas de Decisión para la Vulnerabilidad Físico Espacial

Para la evaluación de la vulnerabilidad para la variable físico espacial, se tomaron en cuenta diferentes parámetros que aparecen clasificados en la evaluación de las vulnerabilidades de una microcuenca ante amenazas de inundación, deslizamiento, sismo y sanitario. En las Tablas 11 a 13 se presentan las reglas de decisión correspondientes a la vulnerabilidad físico espacial.

TABLA 11.
Reglas de decisión para la vulnerabilidad físico espacial ante la inundación

Clasificación de vulnerabilidad físico espacial ante la inundación						
Forma	A	M	M	M	M	M
Estructura						
Accesibilidad			A - M		B	B
Espacio Público						
Vías			$A_{lámina} / A_{velocidad}$	$M_{lámina} / M_{velocidad}$	$B_{lámina} / B_{velocidad}$	
Infraestructura de servicios		A	M		B	B
Edificaciones		A				
	A	A	A	A	M	B

TABLA 12.
Reglas de decisión para la vulnerabilidad físico espacial ante el sismo

Clasificación de vulnerabilidad físico espacial ante el sismo							
Forma	A	M	M	M	M	M	B
Estructura		A	M		M	A	B
Accesibilidad		A	M		M - B	M	B
Infraestructura de servicios				A	M	M	A
Edificaciones			A	M	M	M	B
	A	A	A	A	M	M	B

TABLA 13.
Reglas de decisión para la vulnerabilidad físico espacial ante el movimiento en masa

Clasificación de vulnerabilidad físico espacial ante el movimiento en masa						
Forma	A	M	M	M	M - B	B
Estructura						
Accesibilidad		A	M	M	M	M - B
Espacio Público						
Vías			A	M	M	B
Infraestructura de servicios			A		M	B
Edificaciones				M	M	B
	A	A	A	M	M	B

5. EVALUACIÓN DEL RIESGO

La metodología propuesta consiste, tal y como se ha venido exponiendo, en la evaluación de riesgos específicos que, por la acción de cada una de las amenazas identificadas, se presentan en la cuenca. Esto permitirá al planificador hacer un seguimiento más detallado de los parámetros que determinan el riesgo con el fin de ordenar el territorio de una manera adecuada.

Para la definición de cada uno de los riesgos considerados, se presentan a continuación tablas de decisión para cada combinación vulnerabilidad - amenaza, ya que dicha combinación no es trivial sino que depende de los impactos espaciales y temporales de la Vulnerabilidad y la Amenaza en cada caso, y entendiendo que el riesgo se refiere al valor esperado de la pérdida de vidas y bienes materiales.

Cómo resultado del análisis de riesgo propuesto se tendrán mapas que serán tratados como capas de información útiles para la toma de decisiones en el ordenamiento del territorio tales como los mapas de amenaza, los mapas de vulnerabilidad ante cada amenaza y los mapas resultantes de riesgo. Para el riesgo se obtendrá entonces un mapa específico para cada amenaza.

Es importante aclarar que en esta combinación de mapas, el riesgo no es un valor esperado (estadística), sino un resultado de una tabla de decisión. No se usa acá el concepto de riesgo ampliamente difundido en estadística, ingeniería y otras áreas.

Reglas de Decisión para la Determinación del Riesgo Asociado a la Inundación

Mapas base para la definición del riesgo asociado a la inundación:

- Amenaza de inundación.
- Mapa de amenaza hidrológica
- Mapa de lámina de flujo
- Mapa de velocidad de flujo
- Vulnerabilidad.
- Mapa de vulnerabilidad social ante la inundación
- Mapa de vulnerabilidad económica ante la inundación
- Mapa de vulnerabilidad físico espacial ante la inundación

En la Tabla 14 se definen las reglas de decisión para la evaluación del riesgo asociado a la inundación.

Reglas de Decisión para la Determinación del Riesgo Asociado al Sismo

Mapas base para la definición del riesgo asociado al sismo:

- Amenaza: sísmica.
- Mapa de amenaza sísmica
- Vulnerabilidad:
- Mapa de vulnerabilidad social ante el sismo
- Mapa de vulnerabilidad económica ante el sismo
- Mapa de vulnerabilidad físico espacial ante el sismo

Las reglas de decisión para la evaluación de riesgo asociado al sismo obtenidas son las mismas mostradas en la Tabla 14.

TABLA 14.

Tabla de decisión para la evaluación del riesgo asociado a la inundación.

Amenaza de inundación	Vulnerabilidad Físico Espacial	Vulnerabilidad Económica	Vulnerabilidad Social	Riesgo asociado a la Inundación	
A	A			A	
	M	A		A	
	M	M	A	A	
	M	M	M	M	
	M	M	B	M	
	M	B	A	M	
	M	B	M	M	
	M	B	B	B	
	B	A		A	
			M	A	M
				M - B	B
			B	A	M
				M - B	B
M	A			M	
	M	A		M	
	M	M		M	
	M	M	A	B	
	M	M	B	B	
	M	B	A	B	
	M	B	M	B	
	M	B	B	B	
	B	A		M	
			M	A	B
				M - B	B
			B	A	B
				M - B	B

Reglas de Decisión para la Determinación del Riesgo Asociado al Movimiento en Masa

Mapas base para la definición del riesgo asociado a la inundación:

- Amenaza de Movimiento en masa.
- Mapa de amenaza por movimiento en masa
- Vulnerabilidad
- Mapa de vulnerabilidad social ante el movimiento en masa
- Mapa de vulnerabilidad económica ante el movimiento en masa
- Mapa de vulnerabilidad físico espacial ante el movimiento en masa

Las reglas de decisión para la evaluación del riesgo asociado al movimiento en masa obtenidas son las mismas que se muestran en la Tabla 14 anterior.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Se presenta un caso de aplicación de la metodología propuesta para el caso de la quebrada La Iguaná ubicada en el municipio de Medellín. En este caso se usan las reglas de decisión arriba presentadas para definir las vulnerabilidades y riesgos ante cada amenaza. Los resultados finales serán unos mapas de vulnerabilidad y riesgo ante cada una de las tres amenazas consideradas. Acá no se entra en el detalle de como se obtienen esos mapas, ya que lo fundamental en la metodología propuesta es el calculo de la vulnerabilidad y riesgo por medio de las reglas de decisión para cada tipo de amenaza arriba mostradas.

La microcuenca de la quebrada la Iguana se encuentra localizada en el extremo occidental del Valle de Aburrá, entre las coordenadas $6^{\circ}15'05''$ y $6^{\circ}20'15''$ de Latitud Norte y $75^{\circ}41'28''$ y $75^{\circ}34'19''$ de Longitud Oeste. Esta quebrada es afluente del río Medellín que a su vez forma la cuenca del río Porce. Nace en el alto de las Valdías a una altura de 3100 metros sobre el nivel del mar y desemboca en el río Medellín en la cota 1460 metros. Tiene la forma de una "V" asimétrica, con vertientes claramente diferenciadas en cuanto a su forma, pendientes, drenaje y tendencia de las geoformas presentes en ellas. El cauce principal tiene una longitud de 16,7 Km. y forma una cuenca de 46,25 km², de los cuales 7,52 corresponden a suelo urbano y los restantes 38,73 km² comprenden a: suelo de expansión urbana, suelo suburbano, suelo de protección y suelo rural, según lo establecido por el Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín. Esta compuesta por varias subcuencas entre las que se destacan las formadas por las quebradas San Francisco, Agua Fría, La Honda, El Hato, La Puerta, La Corcovada o la García y la Gómez. La población estimada para la microcuenca para el año 2002 es de 96.863 habitantes. 2.289 personas viven en la zona rural y 94.574 en la urbana. La población de la microcuenca equivale al 4.78% de la población total de Medellín.

Evaluación de la Vulnerabilidad Social

El resultado final de la vulnerabilidad social de la microcuenca presenta un grado de vulnerabilidad alta ante las diferentes amenazas, debido entre otras razones al grado de la organización social, al nivel de escolaridad de los jefes de hogar y de la población en edad de estudiar, a las densidades de población y a la estratificación social predominante (50% en estratos bajos). Con base en este análisis se realizó un mapa de vulnerabilidad social para cada una de las amenazas. En las Figuras 1 a 3 se muestran los mapas de vulnerabilidad social.

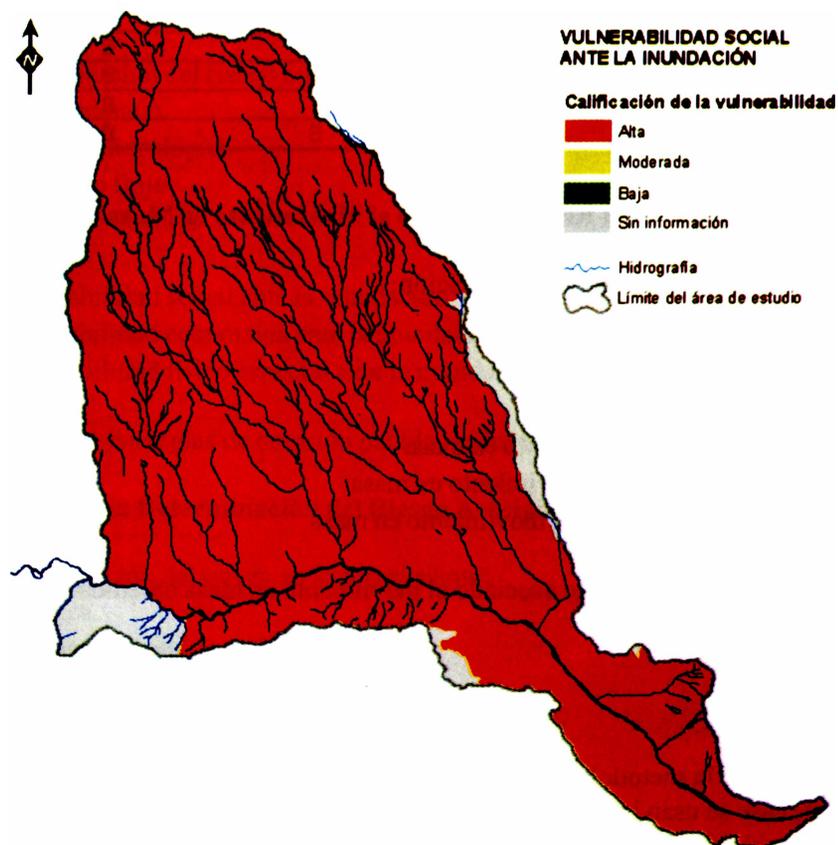


FIGURA 1.
Vulnerabilidad social ante la inundación.

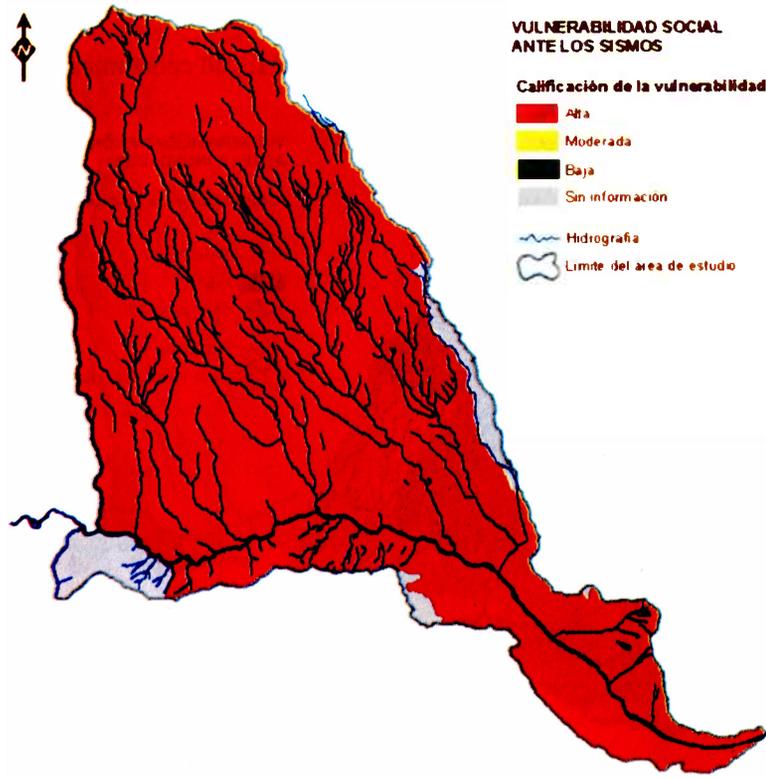


FIGURA 2.
Vulnerabilidad social ante los sismos.

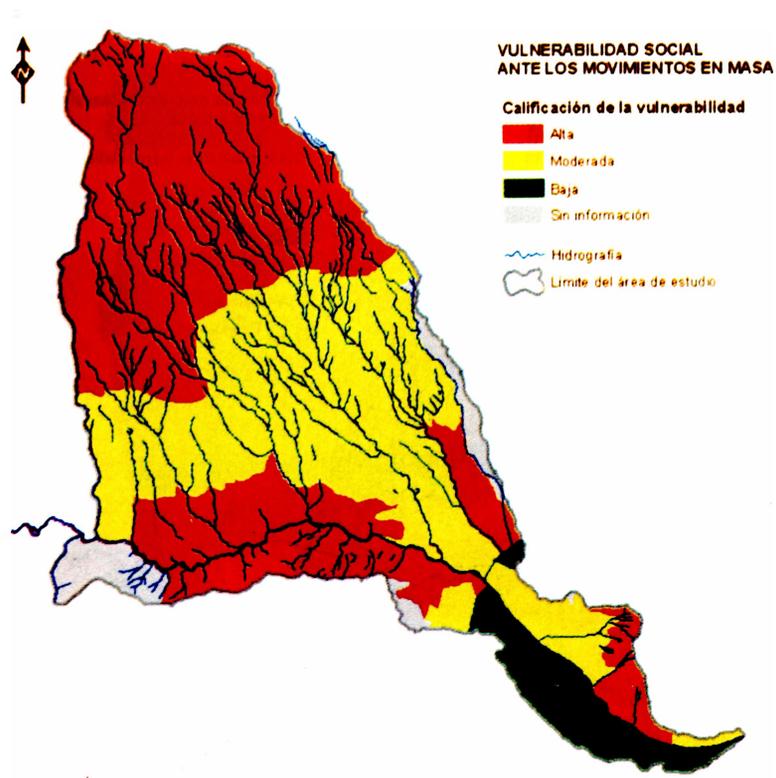


FIGURA 3.
Vulnerabilidad social ante los movimientos en masa.

Evaluación de la Vulnerabilidad Económica

En las Figuras 4 a 6 se ilustran los resultados del análisis de vulnerabilidad económica ante las diferentes amenazas.

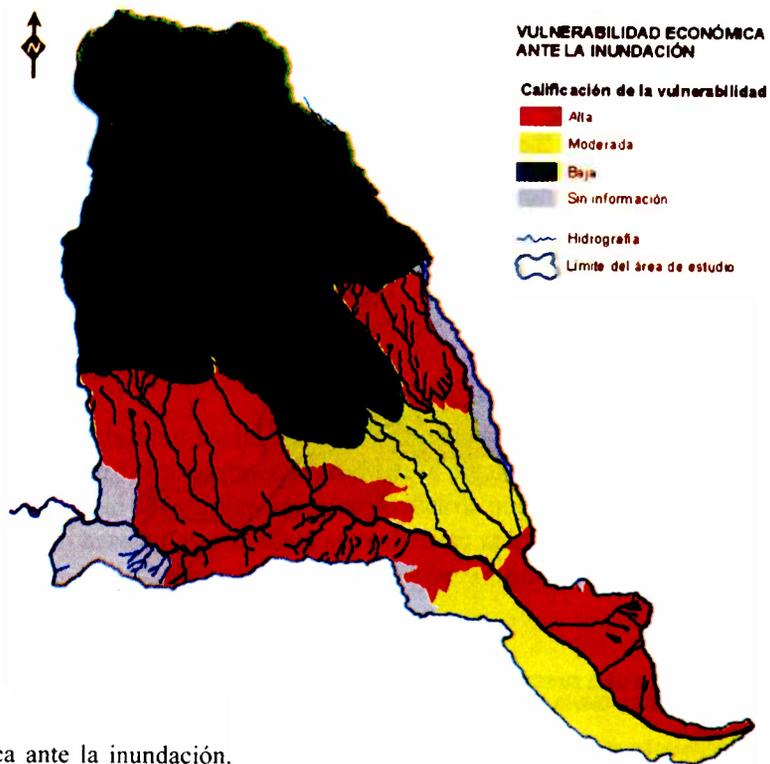


FIGURA 4.
Vulnerabilidad económica ante la inundación.

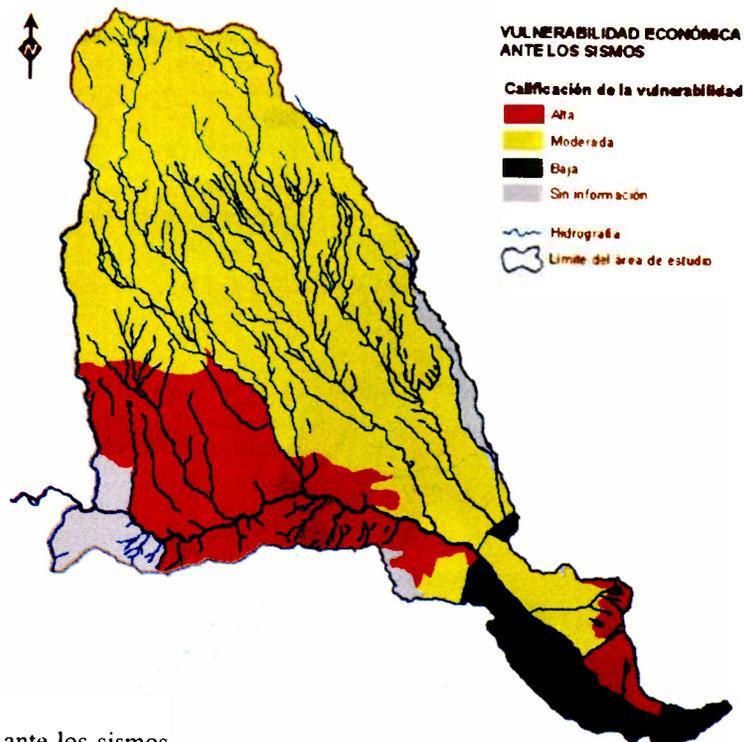


FIGURA 5.
Vulnerabilidad económica ante los sismos.

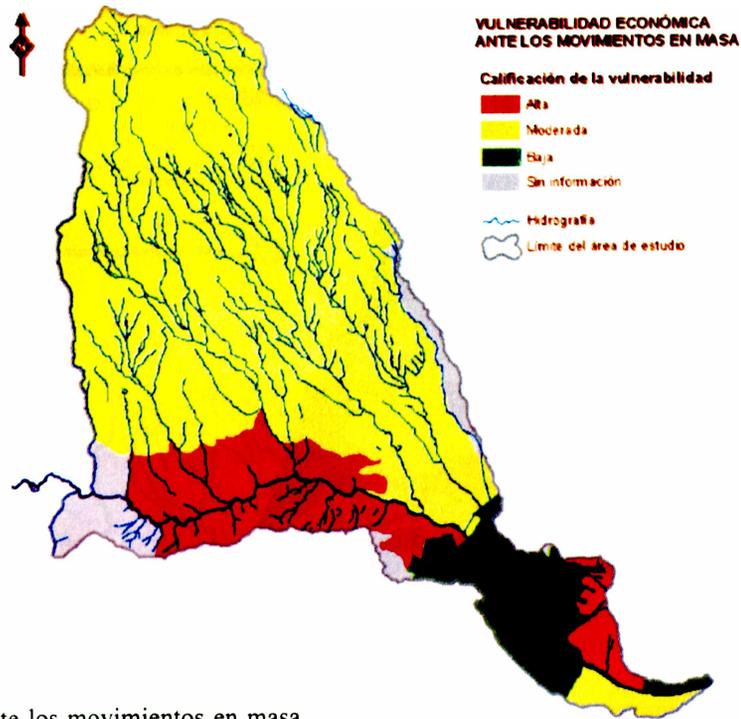


FIGURA 6.
Vulnerabilidad económica ante los movimientos en masa.

Evaluación de la Vulnerabilidad Físico Espacial

En las Figuras 7 a 8 se ilustran los resultados obtenidos.

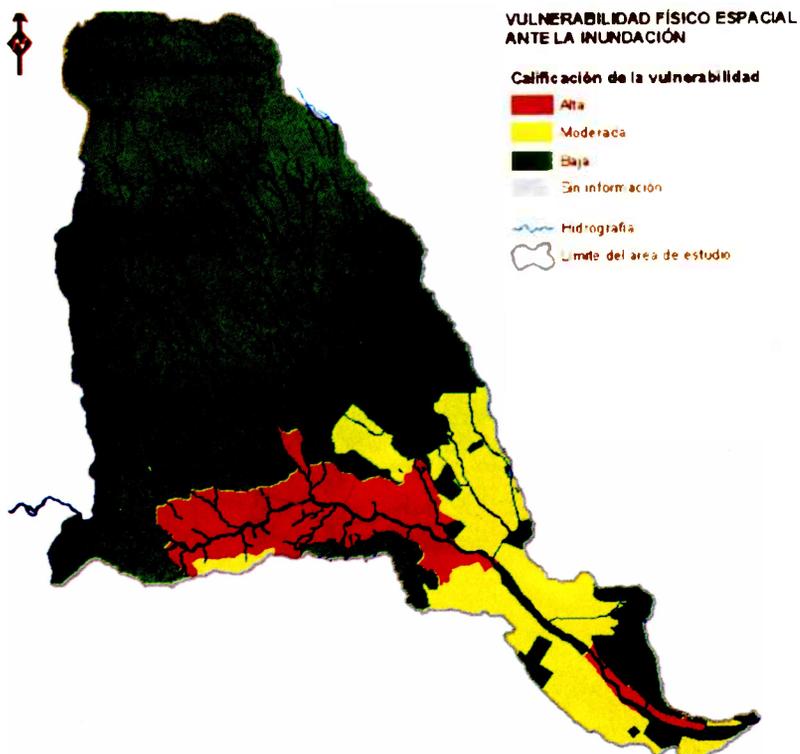


FIGURA 7.
Vulnerabilidad físico espacial ante la inundación.

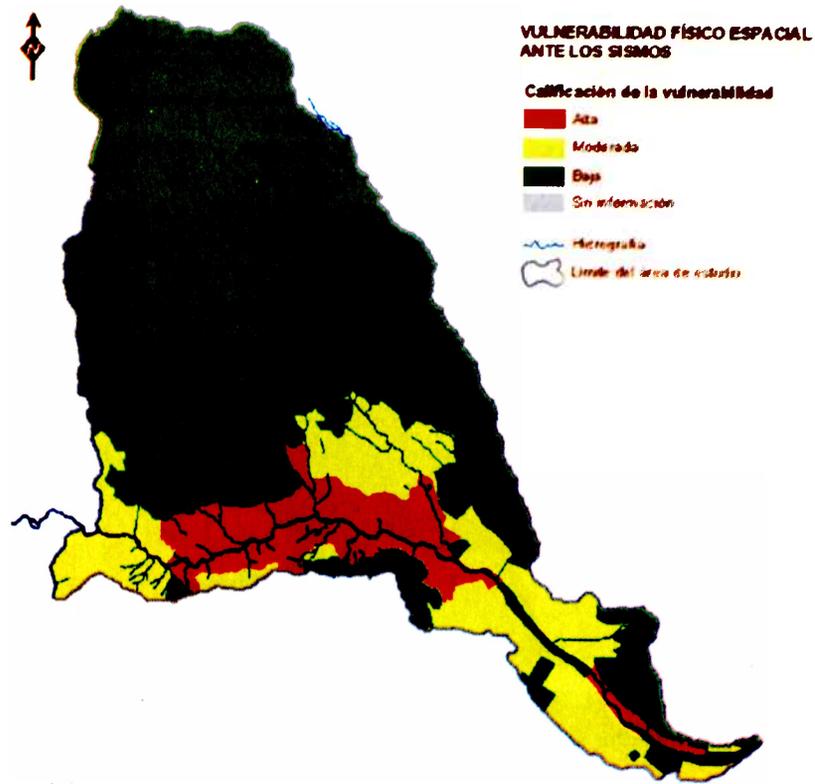


FIGURA 8.
Vulnerabilidad físico espacial ante los sismos.

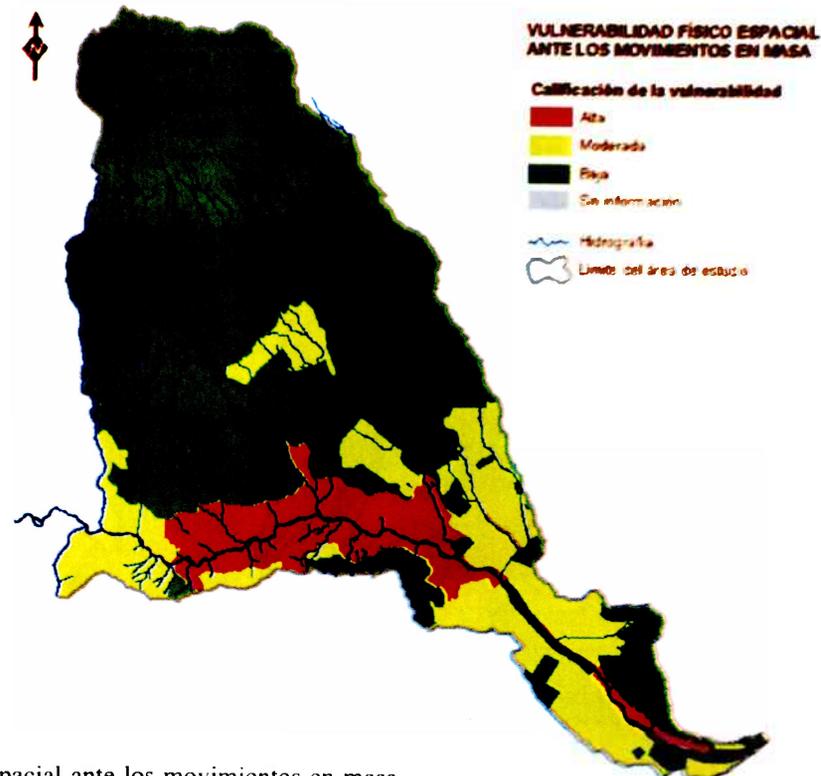


FIGURA 9.
Vulnerabilidad físico espacial ante los movimientos en masa.

Evaluación del Riesgo

El riesgo para la quebrada La Iguana se calculó como la superposición de las vulnerabilidades ante cada amenaza, es decir, se calculó un mapa de riesgo ante cada amenaza. En la Figura 10, se puede observar el mapa resultado para el Riesgo asociado a la inundación. En la Figura 11 se puede observar el mapa resultado para el Riesgo asociado al sismo, y en la Figura 12 se puede observar el mapa resultado para el Riesgo asociado a movimientos en masa.

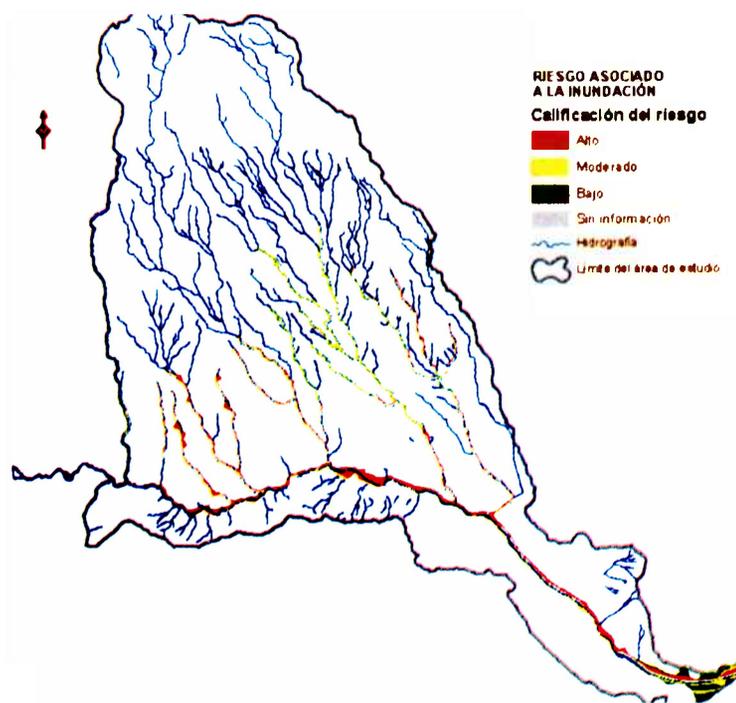


FIGURA 10.
Riesgo asociado a la inundación

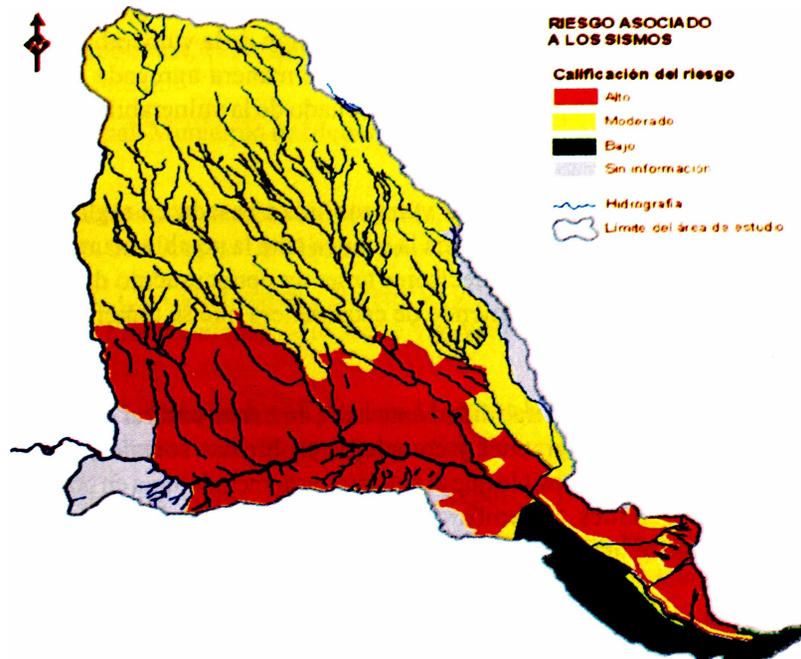
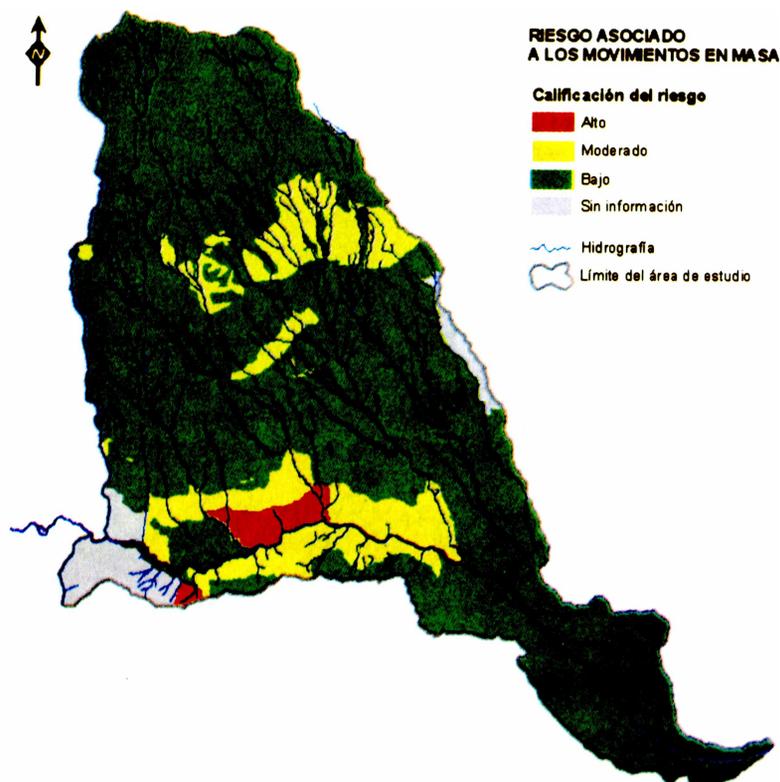


FIGURA 11.
Riesgo asociado al sismo

**FIGURA 12.**

Riesgo asociado a los movimientos en masa

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el cálculo del riesgo por amenazas naturales, el cual se define como una combinación de la respectiva amenaza con la vulnerabilidades asociadas a esa amenaza, siempre se encuentra que el gran esfuerzo se concentra en definir de manera adecuada la amenaza y muy poco esfuerzo se hace en la dirección de la vulnerabilidad. En muchos estudios de riesgo la vulnerabilidad es simplemente ignorada o considerada de manera agregada o aproximada. La propuesta metodológica presentada acá es una propuesta para el manejo adecuado de la vulnerabilidad en la estimación del riesgo por amenazas naturales.

Se desarrolló una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad basada en reglas de decisión y tratando de determinar la preparación real de la comunidad asentada en la cuenca ante la posible ocurrencia de amenazas naturales específicas. La metodología propuesta permite a los decisores tener un conocimiento del estado de la cuenca y de su vulnerabilidad ante cada amenaza específica, permitiendo de esta manera que se tomen los correctivos del caso para disminuir el riesgo ante esas amenazas.

Los criterios propuestos acá para definir la vulnerabilidad ante cada amenaza natural específica fueron desarrollados para el caso de una microcuenca urbana con grandes y complejos problemas sociales, con un porcentaje alto de la población en condiciones de pobreza aguda. Es posible que al aplicarse esta metodología en otras cuencas de características distintas, esos criterios podrían ser diferentes. Sin embargo, pensamos que la estructura de la propuesta metodológica para el cálculo de la vulnerabilidad es aplicable a cualquier tipo de cuenca.

La metodología fue aplicada en la cuenca de la quebrada La Iguana, en la ciudad de Medellín, Colombia, y se espera sea el método para la definición de la vulnerabilidad asociada a las diferentes amenazas naturales en el cálculo del

riesgo en cuencas hidrográficas. La metodología, por estar soportada en SIG, permite adaptar y mejorar las reglas de decisión en el tiempo de acuerdo a las necesidades de la ciudad y su medio natural y social.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ÁREA METROPOLITANA, 2002. Microzonificación sísmica del Valle de Aburrá y definición de amenaza por movimientos en masa en el Valle de Aburrá. Medellín.
- Botero V., Smith R.A. y Patiño J.E., 2004. Metodología para la Zonificación del uso de microcuencas urbanas. XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Armenia, 28 al 30 de octubre.
- Botero V., Smith R.A. y Patiño J.E., 2004. Zonificación del uso de microcuencas urbanas como base para el ordenamiento territorial. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Saõ Pedro, Estado de Saõ Pablo, Brasil, octubre 15 al 19.
- Botero V., Escobar D., Rave C.C., Vélez J.I., y Smith R.A., 2004. Análisis multiobjetivo explícito para análisis de riesgos naturales. XII Congreso Latino Iberoamericano de I. O. CLAIO 2004, Ciudad Habana, Cuba, 4 al 8 de octubre.
- Botero V., Smith R.A. y Patiño J.E., 2004. Zonificación de Microcuencas Urbanas. IV Foro Centroamericano y del Caribe de Cuencas Hidrográficas, Ciudad de La Habana, Cuba, Septiembre 30 a Octubre 2.
- Botero V., Smith R.A. y Patiño J.E., 2004. Metodología para la Zonificación del uso de microcuencas urbanas. II Simposio Internacional sobre Gestión Integral del Agua y el Medio Ambiente, Barquisimeto, Venezuela, Septiembre 8 al 11.
- Botero V., Smith R.A. y Patiño J., 2003. Zonificación de microcuencas urbanas para el ordenamiento territorial. Avances en Recursos Hidráulicos No. 10, pp. 33-46.
- Rave C.C., Smith, R.A., Vélez J.I. y Botero V., 2004. Explicit multiobjective analysis for risk analysis in natural resources. EURO XX, 20 Conferencia Europea de Investigación de Operaciones, Isla de Rodas, Grecia, Julio 4 al 7.
- Secretaría de Planeación Metropolitana, 1996. Método cualitativo para la determinación de los niveles de amenaza por movimientos en masa de la ciudad de Medellín, ladera occidental. Medellín.
- Secretaría de Planeación Metropolitana, 1998. La amenaza y la vulnerabilidad en el análisis de riesgos: La microcuenca de la quebrada La Iguana. Medellín.
- Secretaría de Planeación Municipal, Municipio de Medellín, 1999. Soporte Técnico del Plan de Ordenamiento Territorial, Medellín,.
- Secretaría de Planeación Municipal, Municipio de Medellín, 1998. Programa de Naciones Unidas, La Amenaza y la Vulnerabilidad en el análisis de Riesgos. La Microcuenca de la quebrada la Iguaná.
- Smith R.A., Vélez J.I., Rave C.C., Caballero H., Botero V. y Escobar D., 2005. Risk Evaluation in Urban Areas. International Symposium on Flood Defence, Ministerie Van Verkeer en Waterstaad, Nijmegen, Holanda, 25 al 27 de mayo.
- Smith R.A., Vélez J.I., Rave C.C., Caballero J.H., Botero V. y Escobar D., 2004. Evaluación del Riesgo en Cuencas Urbanas. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Saõ Pedro, Estado de Saõ Pablo, Brasil, octubre 15 al 19.
- UNDRO, 1979. Natural disasters and vulnerability analysis, Report of Experts Group Meeting. Ginebra.
- Smith R.A., Vélez J.I., Rave C.C., Botero V. y Escobar D., 2004. Análisis Multiobjetivo Explícito para análisis de riesgos naturales. III Congreso Colombiano y I Conferencia Andina de I. O., Cartagena, Marzo 14 al 19.
- Universidad Nacional de Colombia, 2002. Diseño de la metodología para la formulación de planes integrales de

ordenamiento y manejo de microcuencas (PIOM) y su aplicación en la parte baja de la cuenca hidrográfica de la quebrada la Iguaná. Instituto Mi Río, Medellín.

Vélez J.I., Rave C.C., Caballero J.H., Botero V., Escobar D. y Smith R.A., 2004. Evaluación de Riesgos en Cuencas Altamente Intervenidas. XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Armenia, 28 al 30 de octubre.

Vélez J.I., Rave C.C., Caballero J.H., Botero V., Escobar D. y Smith R.A., 2004. Evaluación de Riesgos por Amenazas Naturales en Cuencas Urbanas. IV Foro Centroamericano y del Caribe de Cuencas Hidrográficas, Ciudad de La Habana, Cuba, Septiembre 30 a Octubre 2.

Vélez J.I., Rave C.C., Caballero J.H., Botero V., Escobar D. y Smith R.A., 2004. Evaluación de riesgos en cuencas altamente intervenidas. II Simposio Internacional sobre Gestión Integral del Agua y el Medio Ambiente, Barquisimeto, Venezuela, Septiembre 8 al 11.

Vélez J.I., Caballero H., Botero V., Smith R.A., Rave C.C., Patiño J. y Escobar D., 2003. Evaluación de riesgos en cuencas urbanas. Avances en Recursos Hidráulicos No. 10, pp. 17-32.

