



CAPI TULO 8

Riesgos Naturales en San Diego de Alcalá de Guacamayas

Para desarrollar el análisis de los riesgos naturales se debe tener en cuenta la geología, hidrología, climatología, procesos morfogénicos, procesos morfodinámicos y la población junto con su infraestructura.

Es común, confundir el uso de los términos: fenómeno natural y desastre natural. Fenómenos naturales como terremotos, inundaciones y ciclones, erradamente se convierten en sinónimo de desastres naturales.

Aunque fenómenos naturales como terremotos son altamente destructivos no necesariamente causan desastre. Por ejemplo, un terremoto que ocurre en un desierto deshabitado no puede considerarse como desastre, aunque sea de fuerte intensidad. Un terremoto sólo causa desastre cuando afecta directa o indirectamente al hombre y sus actividades en un lugar y tiempo determinado; aunque cabe anotar que prácticamente el hombre ya está ubicado en toda la superficie de la tierra y que se le ha denominado a esta ocupación la *ecuaneme*, que es donde el hombre realiza todas sus acciones.

En general, de acuerdo con Maskrey, se considera como “desastre natural a la coincidencia entre un fenómeno natural de gran amenaza (inundación, terremoto, sequía, ciclón, etc.) y determinadas condiciones vulnerables. Existe el riesgo de que ocurra un desastre cuando una o más amenazas naturales se manifiestan en un contexto vulnerable.¹

El riesgo es definido por la UNDRO como el “Número de pérdidas de vidas humanas esperado, personas heridas, daño a propiedades e interrupción de actividades económicas debidas a fenómenos naturales particulares y por consiguiente, el producto de riesgos específicos por elementos en riesgo².

La Vulnerabilidad como el “Grado de pérdida de (0 a 100%) como resultado de un fenómeno potencialmente dañino³

¹ Maskrey, Andrew. El manejo popular de los desastres naturales. Estudios de vulnerabilidad y mitigación, Lima, 1989. p 35

² Oficina Coordinadora de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastres (UNDRO). 1979. Citado por Rodríguez G. Durado y Cepeda, Hector. Aporte del Ingeominas en los Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo Geológico en Colombia. En: VII CC – Sociedad Colombiana de Geotecnia. 1998. p.3

³ Ibid., p.3



Finalmente la amenaza se define como el “Evento amenazante o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente perjudicial en un área dada en un período específico”⁴

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} + \text{VULNERABILIDAD}$$

Aunque esto no es tan válido pues, otros investigadores presentan esta ecuación como el riesgo dependiendo de la multiplicación de la amenaza por la vulnerabilidad. Lo importante es que la ocurrencia de un riesgo (alto, medio, bajo o nulo) está determinado por la amenaza, es decir; qué evento natural está amenazando y su grado, intensidad y frecuencia así como también lo determina el grado de vulnerabilidad (alta, media, baja y nula) de la población frente a ese posible evento.

Por otra parte cabe destacar que en el Municipio existen básicamente cinco tipos de amenazas naturales para la población y su infraestructura: flujos de lodo y piedra asociados sobre todo a la dinámica de la quebrada Surcabásiga, Deposición Aluvio torrencial, por sísmica, deslizamientos y heladas.

La vulnerabilidad según el IGAC (1996) es “la condición en que se encuentran las personas y los bienes expuestos a un grado de amenaza en relación con su capacidad o inhabilidad para afrontar o soportar la acción de un evento posible”⁵. Tal como se ha visto en los capítulos económicos y sociocultural la población de Guacamayas de hecho ingresaría en alto grado de vulnerabilidad pues la capacidad de respuesta frente a una amenaza es mínima.

Finalmente el riesgo es conceptualizado de acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente como la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad, que indica la “probable pérdida de bienes y personas en caso de presentarse un evento determinado en un período y área conocida. El Riesgo puede calificarse en alto, medio o bajo, de acuerdo a la amenaza o conjunto de amenazas que lo definen...”⁶ y el grado de vulnerabilidad.

Los elementos que se colocan en riesgo son la población, edificios, instalaciones, obras de infraestructura, actividades económicas, servicios públicos, entre otros que están expuestos a una amenaza o varias.

8.1. AMENAZAS.

Las amenazas que se encuentran en el municipio de Guacamayas se relacionan con fenómenos sísmicos, fenómenos geomorfodinámicos y heladas.

8.1.1. Fenómenos sísmicos.

Como el fenómeno sísmico es de carácter regional y es producto del acomodamiento de la corteza terrestre debido a fuerzas endógenas de tectónica de placas, se enuncian los principales que han tenido epicentro sobre los siguientes municipios de las provincias de

⁴ Ibid., p.3

⁵ IGAC. 1996. p.

⁶ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Lineamientos para la Política Nacional de Ordenamiento Ambiental del Territorio. Bogotá. 1998. p.



Norte, Gutiérrez y García Rovira de Norte de Santander. Fenómenos registrados el IGAC⁷, Ramírez⁸ y Mosquera⁹.

- Güicán: dos sismos registrados en 1957	Sin información de intensidad
- La Uvita: un sismo registrado en 1873	Sin información de intensidad
- El Espino: un sismo registrado en 1954	Sin información de intensidad
- Chita: un sismo registrado en 1954	Sin información de intensidad
- Capitanejo: un sismo registrado en 1966	Sin información de intensidad
- San Mateo: un sismo registrado en 1972	Sin información de intensidad
- Sativanorte: un sismo registrado en 1999	Sin información de intensidad*

*Nota: Si el equipo evaluador ratifica que es imposible la aprobación del E.O.T, sin esta información, recurriendo al principio de subsidiaridad que debe existir entre las instituciones del Estado y que se encuentra consagrado en la Constitución Política Nacional, se solicita el favor de anotar en lápiz frente a cada sismo, el grado de intensidad, información que inmediatamente el consultor corregirá, dada la imposibilidad por parte nuestra de acceder a ésta.

Como se observa en el mapa geológico del municipio (Mapa 2), son muchas las fallas que lo cruzan y se hacen sentir en la ocurrencia de cierta actividad sísmica que debe estar directamente relacionada con la "Paleofalla de Pachiaquiaro" y con la gran cantidad de fallas y fracturas que se encuentran sobre el área de estudio. De la misma manera las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente Ley 400 de 1,997 y Decreto 33 de 1,998 clasifican el área en la categoría de alta sismicidad.

8.1.2. Fenómenos Geomorfodinámicos.

Según el inventario inicial de riesgos naturales del IGAC¹⁰ muestra que ha ocurrido movimientos de tierra en los siguientes municipios de la parte Norte de Boyacá:

- Chita: Ocurrió un Movimiento de soliflucción* en 1944 y deslizamiento en área rural en 1986.
- Boavita: Ocurrió deslizamiento en 1951, deslizamientos y agrietamientos sobre la vía en 1982.
- Guacamayas: Ocurrieron movimientos en masa y flujos de lodo y piedra sobre la quebrada Surcabásiga en 1935, 1944 y 1968. Estos movimientos destrozaron prácticamente la mitad del área urbana.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Ambiental de CORPOBOYACÁ¹¹ en veredas de los municipios de Panqueba y Güicán existen fenómenos de deslizamientos, lo cual es corroborado en este estudio.

⁷ IGAC. Inventario Inicial de Riesgos Naturales. En: Análisis Geográficos No. 16. IGAC, Bogotá. 1990. pp56

⁸ RAMÍREZ, Jesús. Historia de los Terremotos en Colombia. Bogotá: IGAC,. 1977.

⁹ MOSQUERA TORRES, Dario. Reconocimiento Geotécnico de los Deslizamientos de las Zonas rurales del Municipio de Chita, Boyacá. Bogotá: INGEOMINAS,. 1986.

¹⁰ Inventario Inicial de Riesgos Naturales. Op. Cit.pp 11 - 16

* Debió de ser un movimiento en masa de lodo y piedra en vertientes del río Loblanco

¹¹ CORPOBOYACA. Plan de Ordenamiento Ambiental Jurisdicción CORPOBOYACA. Op. Cit.



De esta forma, se establece que el área regional, es de cierta manera inestable y afectada por movimientos en masa, asociado no sólo a las fallas principales de la cordillera (Paleofalla de Pachaquiara), sino a fallas, fracturas, y litología presente en el área que por su fragmentación producen inestabilidad en el terreno.

Además en el capítulo correspondiente a la geomorfología se describe con mayor detalle cada uno de los procesos geomorfodinámicos que están ocurriendo y que se relacionan con flujos de lodo y piedra, deslizamientos rotacionales, taludes inestables y derrumbes.

8.1.3. Heladas.

Es un fenómeno que se facilita por la disminución abrupta de las temperaturas en las horas de la mañana.

Este fenómeno climático afecta principalmente a los animales y cultivos, especialmente la papa que es sembrada sobre todo en las veredas de Chiveche, Chiscote, Alisal y Uragón.

8.2. VULNERABILIDAD.

La vulnerabilidad a los fenómenos anteriormente descritos en el Municipio evidentemente es alta, pues, como se demuestra en el diagnóstico socioeconómico los habitantes de Guacamayas no poseen los recursos económicos necesarios para enfrentar las diversas amenazas y evitar el riesgo, además el Estado no aporta recursos que permitan solucionar el problema.

La mayor vulnerabilidad a los fenómenos naturales para el municipio de Guacamayas, la presenta la infraestructura física localizada en el 70% del urbana, lo cual quedo demostrado en la anterior avalancha de lodo que ocasionó la quebrada Surcabásiga, pues el territorio en mención quedo cubierto por el material proveniente del fenómeno (más adelante se trata a detalle).

8.3. Riesgo.

A continuación se generan matrices en donde de manera cualitativa, se presenta el tipo y jerarquía de los posibles riesgos naturales que pueden ocurrir en las diferentes veredas del Municipio, y donde se tendrá como factor principal para las amenazas y vulnerabilidad las condiciones geofísicas y geomorfológicas en que se encuentra asentada la población y la actividad que esta realiza.

Para ello, se debe clasificar ordenadamente las amenazas y vulnerabilidades asignándoles un valor cualitativo y un número, con el objetivo de diferenciarlo y ordenarlo y, de esta manera obtener el riesgo que se presenta en cada una de las diferentes veredas. Esta clasificación se registra en el cuadro 8.1.



Cuadro 8.1 Valores Para la Amenaza y la Vulnerabilidad

ALTA	MEDIA	BAJA	NULA
AMENAZA			
3	2	1	0
VULNERABILIDAD			
3	2	1	0

El riesgo estará determinado según esta ecuación y también asignándole valores cualitativos y cuantitativos según rangos, de la siguiente manera: teniendo en cuenta que $\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} + \text{VULNERABILIDAD}$ (Véase el Cuadro 8.2).

Cuadro 8.2. Valor Cuantitativo y Ordenado del Riesgo

ALTO	MEDIO	BAJO	NULO
5 –6	3 – 4	1 - 2	0

Existen básicamente tres tipos de riesgos naturales para la población y su infraestructura: Movimientos morfodinámicos (flujos de lodo y piedra, deslizamientos rotacionales, y derrumbes), por sísmica y por heladas.

Aunque la frecuencia de estos elementos no se tendrá en cuenta en primer plano pues no existe suficiente información de tipo histórico y cuantitativo de estos eventos lo suficientemente importantes, como para confiar en ella y elaborar estadística sobre la frecuencia de ocurrencia de esos fenómenos, pero cabe decir que potencialmente todos existen y por lo tanto hay que dejar la frecuencia como algo latente.

Sobre el cuadro 8.3, se aprecia el tipo de riesgo al que se ven enfrentados los habitantes de cada una de las veredas del Municipio.

En donde,

- CH1 = Vereda Chiscote
- CH2 = Vereda Chiveche
- CH3 = Vereda Chichimita
- L = Vereda La Laguna
- A = Vereda Alisal
- U = Vereda Uragón
- G = Vereda Güiragón
- LP = Vereda La Palma
- CU = Vereda Centro Urbano

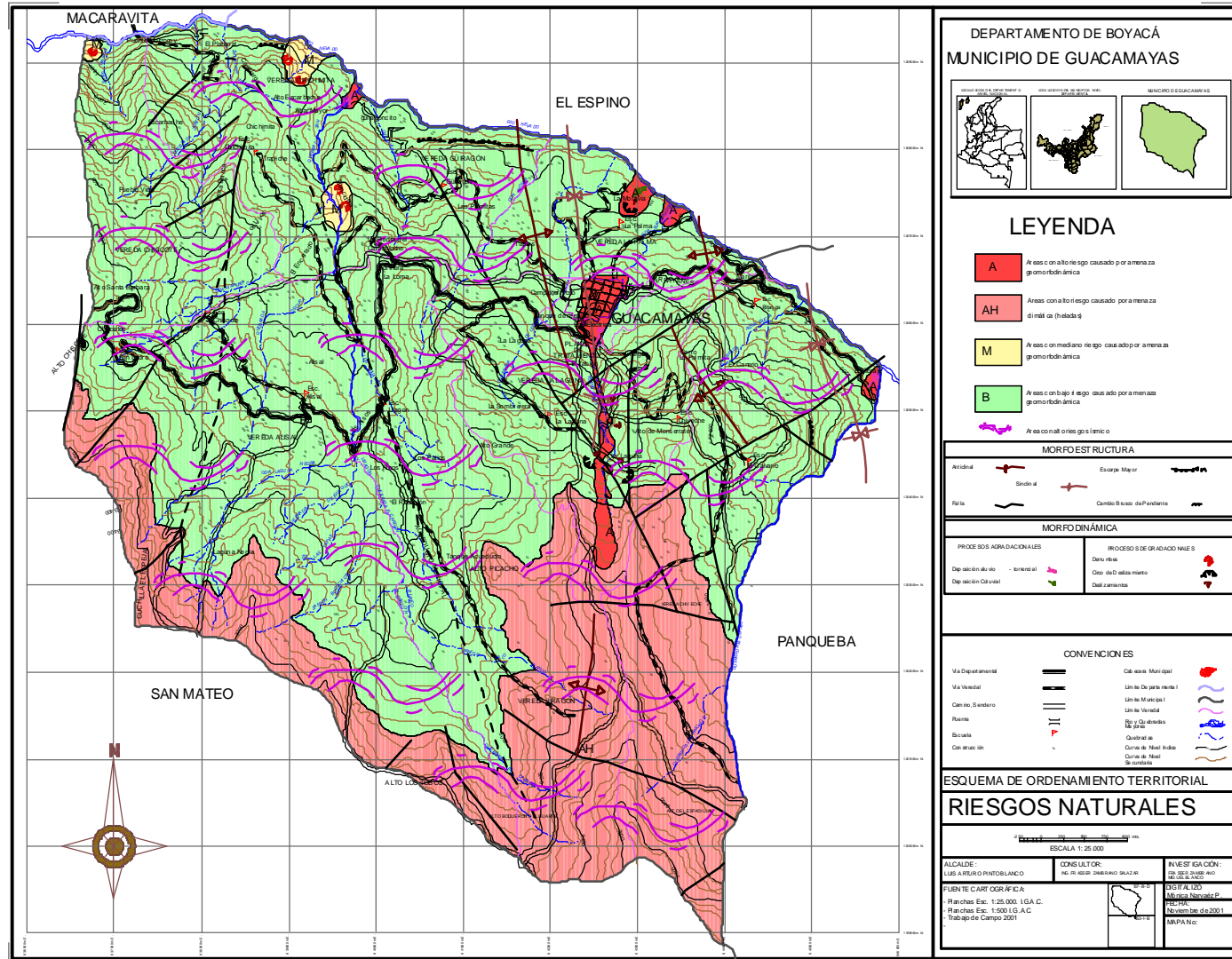


Cuadro 8.3. Riesgos Naturales en el Municipio de Guacamayas

TIPO DE RIESGO	AMENAZA				VULNERABILIDAD				ESPACIALIZACION	AFECTACIÓN
	Alta	Media	Baja	Nula	Alta	Media	Baja	Nula		
	3	2	1	0	3	2	1	0		
<i>Flujo de Lodo y Piedra</i>	L, CU, CH2	LP, G, CH3	CH1, A, U	***	L, CU, CH2, LP, G, CH3	***	CH1, A, U	***	En las partes colindantes con EL Río Cóncavo y las Quebradas Surcabásiga, Uragón y el Obraje,	Puentes, Vivienda rural y urbana, Vías, Acueductos, Actividad Pecuaria, Cultivos
<i>Derrumbes</i>		CH1, CH3, G	CH2, L, A, U, LP, CU	***	CH1, CH3, G	U, LP, CH2	L, A, CU		taludes ríos y escarpes con alta pendiente	Cultivos frutales
<i>Deslizamientos Rotacionales</i>	LP, L	***	CH1, CH2, CH3, A, U, G, C U	***	LP, L	CH3	CH1, CH2, CH3, A, U, G, C U	**	Sector de la Moravia Y Vertientes de la quebrada Surcabásiga	Ganado, Viviendas, cultivos
<i>Sismos</i>	CH1, CH2, CH3, L, A, U, G, L P, CU	***	***	***	CH1, CH2, CH3, L, A, U, G, L P, CU	***	***	***	En toda el área municipal	Vías, Suelos, Viviendas, Infraestructura
<i>Heladas</i>	A, U, L, CH2			CH1, CH3, G, LP	A, U, L, CH2		***	CH1, CH3, G, LP	Partes con cotas por encima de los 3,000 m.s.n.m.	Cultivos, Plantas, Actividad Pecuaria

Fuente: La Consultoría, 2,003

De esta manera se obtiene el tipo de riesgo que se tiene en cada vereda. Sobre el Mapa de riesgos naturales, se espacializa la información registrada en el cuadro anterior. (Véase el Mapa 8)





8.3.1 Áreas con riesgo alto.

Los resultados para establecer áreas de alto riesgo se reflejan a continuación.

- Existe alto riesgo por flujos de lodo y piedra en sitios específicos de las veredas La Palma, Güiragón y Chichimita por acción sobre laderas del río Nevado (Ver Fotografía 8.1). En el casco urbano existe el mayor riesgo potencial para humanos e infraestructura debido a sobresaturación de agua en la cuenca de la Quebrada Surcabásiga y sobre la quebrada el Obraje en la vereda Chiveche existe alto riesgo para la vía departamental y para infraestructura de cantera de arena.



Fotografía 8.1 Deslizamiento Escarpe Río Nevado

- Existe alto riesgo por procesos de derrumbes en sitios específicos de las veredas Chiveche, Chiscote y Güiragón (véase el Mapa 8). Debido a que los taludes de los ríos presentan alta pendiente y el suelo está casi totalmente desprotegido de vegetación. El riesgo consiste en avalanchas que se presentan por acumulación de materiales que evitan por momentos el flujo continuo del agua, acumulando caudal, energía y materiales con la capacidad de arrasar con la infraestructura cercana al lecho del río aguas abajo.
- Existe alto riesgo por procesos de deslizamientos rotacionales en un sitio específico de la vereda la Palma en el sector de la Moravia. El riesgo es para dos viviendas muy cercanas al fenómeno y para área destinada a ganadería.



Fotografía 8.2. Situación de riesgo por causa de la Quebrada Surcabásiga



Fotografía 8.3. La Moravia Vereda La Palma



- Existe alto riesgo latente por eventos sísmicos en todas las veredas del Municipio.
- Existe alto riesgo por heladas en las Alisal, Uragón, La Laguna y Chiveche. Esto se debe a que el municipio tiene áreas en piso bioclimático de páramos y esto facilita heladas en épocas de diciembre y enero (véase el Mapa 8).

Como se aprecia sobre los mapas resultantes, son áreas específicas en las que se dan estos riesgos, sobre todo se puede apreciar aquellos riesgos puntuales resultado de amenazas geomorfodinámicas en áreas altamente vulnerables.

8.3.2. Áreas con Riesgo Medio.

Existen áreas con riesgo medio para viviendas, ganadería, infraestructura y agricultura por:

- Derrumbes en las veredas de Uragón, La Palma y Chiveche. Esto se debe a que las pendientes presentan alta potencialidad y por tanto debe cuidarse con vegetación que mantenga el suelo.



Fotografía 8.3. Casa vereda Uragón

8.3.3. Áreas con Bajo Riesgo. Existe bajo en las siguientes áreas

- Existe bajo riesgo por flujos de lodo y piedra en las veredas Chiscote, Alisal y Uragón. No cruzan quebradas importantes que potencien flujos de lodo y piedra.
- Existe bajo riesgo por derrumbes en las veredas la laguna, Alisal y el Casco Urbano.



- Existe bajo riesgo por deslizamientos rotacionales en las veredas Chiscote, Chiveche, Chichimita, Alisal, Uragón, Güiragón y el Casco Urbano.

8.3.4. Áreas con Riesgo Nulo.

No existe vereda alguna, que no tenga al menos algún tipo de riesgo por dinámicas naturales o creadas por la mano del hombre.

El mapa resultante de los riesgos naturales se presenta con los casos puntuales y que mayor daño intempestivo han causado a los habitantes del municipio. Se mapifica aquellos riesgos que son producto de amenazas geodinámicas, como lo son deslizamientos rotacionales, flujos de lodo y piedra, derrumbes y soliflucción.

Es importante resaltar que en la actualidad se está realizando un estudio específico y detallado sobre el riesgo potencial que puede causar la dinámica de la quebrada Surcabásiga y donde se concluye que gran parte el área urbana está en riesgo potencial por depósitos de lodo y piedra (al final de este capítulo se presenta una síntesis de éste)

8.4. PLAN DE MANEJO.

Sobre este tema hay todavía mucho que decir, por ahora sale a la vista algunas cosas que sería importantes empezar a realizar, pues de lo contrario muchos procesos se agravaran con el paso del tiempo; es posible algunos de ellos pueden controlarse desde ahora.

El Municipio de Guacamayas debe desarrollar un Plan de Manejo de las áreas expuestas a alto riesgo, teniendo en cuenta el anterior análisis se puede decir que para estas Provincias del Norte y Gutiérrez de Boyacá y más específicamente para las áreas analizadas, se deben formular algunas recomendaciones encaminadas a elaborar un plan de manejo que esté acorde con las necesidades reales y potenciales de la población. Esto debe hacerse así, pues aunque dentro de este plan de manejo debe recomendarse muchas áreas a proteger, no debe desconocerse que la gente por su carácter de productores minifundistas, esto es agricultores y ganaderos en la gran mayoría pobres y con pequeñas parcelas, a los que si se les ordenara reforestar o restringir su uso para su parcela, sería totalmente injusto e ineficiente, pues básicamente el sustento para muchas personas de esta área depende de lo que se produce en sus pequeñas propiedades.

También por la dinámica de los ríos, los cuales, al ser formadores de cañones muy profundos dejan materiales sueltos no consolidados (terrazas colgantes), que en cualquier momento y posiblemente con ayuda de la actividad antrópica, al quitar la vegetación natural que de alguna manera son protectores de procesos abrasivos y de infiltración de aguas precipitadas y al no estar cubiertas por algún tipo de vegetación de gran desarrollo de raíces contenedoras del suelo, los materiales tienden a derrumbarse y depositarse sobre el lecho del río, tal como lo sucedido varias veces sobre los ríos principales.

Hay que decir que lo recomendable es reforestar con vegetación nativa las partes correspondientes a las laderas de los ríos para que esto no siga sucediendo, o al menos



retarde el proceso. Pero También tiene que elaborarse algún sistema de alarma que informe a los habitantes ribereños para que evacuen si el evento tiene lugar. También se tendrá que comprar los predios ribereños para la ronda de los ríos y quebradas principales y se dediquen a uso de suelo de conservación.

Con respecto a los deslizamientos rotacionales que ocurren en la vereda La Palma sector la Moravia se recomienda la construcción de drenajes de aguas superficiales y profundas para aminorar el proceso, y si se siguen construyendo casas debe realizarse con estructuras flotantes y mampostería liviana, esto es con madera y elementos elásticos que amortigüen las deformaciones del terreno aunque este proceso ya está muy avanzado.

También debe generarse planes de vivienda social unido a proyectos productivos, para que las familias que perdieron ya su vivienda regresen a la vereda y no sigan migrando hacia Bogotá principalmente.

Para mitigar el riesgo sobre el área urbana se debe construir drenes que evacuen rápidamente el agua lluvia sobre la ladera de la quebrada Surcabásiga, se debe comprar predios ribereños para destinarlos a reforestación y se debe construir infraestructura que encañone la quebrada para tener control sobre el fenómeno.

Para hacer esto se debe diseñar un estudio socioeconómico y cultural concienzudo en donde se establezca costos reales de viviendas e infraestructura del área urbana (cuanto cuesta todo) y el costo de la infraestructura que se necesita para mitigar el riesgo. Luego de obtener estos costos se debe tomar una decisión que justifique la inversión en la construcción de infraestructura para mitigar el fenómeno; de todas maneras este estudio recomienda no trasladar el casco urbano SIEMPRE Y CUANDO SE CONSTRUYA LA INFRAESTRUCTURA EN MENCIÓN, LO CUAL DEBE REALIZARSE A CORTO PLAZO, NO ES RESPONSABILIDAD DEL EJECUTOR DEL PRESENTE ESTUDIO LOS DESASTRES QUE SUCEDAN POR FALTA DE GESTIÓN E INVERSIÓN DEL ESTADO EN ÉSTA ÁREA A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO, PUESTO QUE SE TRATA DE PROYECTOS ESPECÍFICOS, QUE PARA EL E.O.T, SOLAMENTE SE TRATAN AL NIVEL DE PERFIL NO DE FORMULACIÓN Y MENOS DE EJECUCIÓN, TAMPOCO ES RESPONSABILIDAD DEL CONSULTOR LA IMPOSIBILIDAD DE INICIAR LA EJECUCIÓN DE ESTE PROYECTO POR LA NO APROBACIÓN OPORTUNA DEL PRESENTE E.O.T. POR ASPECTOS IRRELEVANTES. (ver acuerdo de uso del suelo)

Se deben tomar medidas de restricción del mal uso del agua en la cuenca de la quebrada Surcabásiga para que el suelo no se acumule de agua y fluya ladera abajo. También se debe construir un drenaje que evacue rápidamente el agua que se acumula sobre la pequeña laguna que existe en la parte media alta de la quebrada Surcabásiga. Esto debe ser una medida urgente.

Los demás aspectos concernientes al Plan de Manejo se tratan en el Programa de ejecución del E.O.T. que se desarrolla a corto, mediano y largo plazo.



2.2. AMENAZAS Y RIESGO DEL ÁREA URBANA DE GUACAMAYAS.

Para dar claridad sobre lo expuesto en ítems anteriores a cerca del riesgo existente en el casco urbano de Guacamayas por causa de la Quebrada Surcabásiga, a continuación se presentan algunos apartes del estudio realizado por la Oficina Asesora para la Prevención y Atención de Desastres-CREPAD, de Boyacá, LARA CAMARGO Gustavo Arturo, CREPAD Boyacá 2,001:

2.2.1 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

La estimación de la amenaza, entendida como probabilidad de ocurrencia de un evento en un espacio y tiempo determinado con consecuencias negativas tanto para la Comunidad, como para animales y medio ambiente en general, puede hacerse mediante análisis cuantitativo o por métodos puramente empíricos (cualitativos). En el primer caso, la amenaza es función de múltiples factores que controlan la estabilidad de una ladera, ya sean internos o externos, los cuales están expresados como variables aleatorias, debido a que no son parámetros constantes y en ocasiones son desconocidos. En el segundo caso, los componentes se evalúan subjetivamente y se asignan rangos de intensidad.

Debido a la escala de trabajo del proyecto (1:5.000) (*se refiere al estudio del CREPAD que es parte integrante del E.O.T*) se contempló el empleo de un método cuantitativo (técnica determinística) con el fin de evaluar la amenaza. Para ello se siguieron los lineamientos de probabilidad de falla presentados por Hoek (1,996) en el curso teórico - práctico “Decisiones prácticas y riesgos aceptables en ingeniería de rocas” y que se apoya en el planteamiento de aproximación probabilística del Método de Estimación de Punto (PEM) propuesto por Rosenblueth (1,975).

La evaluación de amenaza requirió conocer los mecanismos de falla, y las funciones de probabilidad de las variables involucradas. Dichos elementos ligados con el método de análisis de estabilidad más conveniente, permiten determinar las curvas de probabilidad para cada uno de los taludes en estudio.

El análisis en principio se realizó para los casos individuales, simulando dos periodos de trabajo, uno actual y otro a 10 años, la probabilidad condicional de falla obtenida en cada uno fue elemento fundamental en la definición de las curvas de probabilidad de falla de la zona de estudio por mecanismo de falla. Estas gráficas condujeron a la elaboración de los Mapas de Amenaza.

Para determinar el área de amenaza, se calculó la posible distancia de viaje de los materiales involucrados en el movimiento, distancia determinada a partir del patrón geométrico de los taludes estudiados (mismas secciones) y del proceso de inestabilidad aplicando las ecuaciones presentadas por Finlay et al (1,999). Esta última distancia fue sumada a los límites obtenidos mediante el análisis de estabilidad de taludes (**Tabla 4.1**). Para determinar la distancia de viaje en la amenaza por flujo de suelos, está se realizó con base en información de eventos ocurridos anteriormente en el área de interés.

2.2.1.1 Variables Aleatorias

Las variables aleatorias para los mecanismos de rotura seleccionados, están relacionadas con los cambios espaciales de los materiales geológicos, parámetros de resistencia al



corte; y con las condiciones ambientales: aceleración del terreno para un sismo dado y el nivel del agua.

Cada variable aleatoria fue descrita por una función de probabilidad a partir de una media (μ_x) y la desviación estándar (σ_x). Así, para los coeficientes de resistencia, c , ϕ , las medias fueron tomadas del análisis de sensibilidad. En este sentido se adoptaron como valores promedio los registros del escenario probable actual para las condiciones de agua y sismo en cada unidad de ladera estudiada (**Tabla 3.1**). Por su parte, la desviación estándar se definió con base en análisis estadísticos siendo de 0.27 Ton/m² para el coeficiente de cohesión y 19° para el ángulo de fricción en todos los materiales y para el ángulo de fricción se obtuvo una desviación estándar de 7.1 en las secciones de análisis de los materiales.

La función de densidad para la probabilidad de ocurrencia de lluvias y de sismos se obtuvo con base en la fórmula 1.18c propuesta en la guía metodológica para la cuantificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa (Resolución 364 de 2.000 de la Secretaría de Gobierno de Bogotá y la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá DPAE). La frecuencia de ocurrencia de sismo fue tomada con base en los valores de retorno para la zona norte de Boyacá del estudio de Amenaza Sísmica de Colombia realizada en el año 1,998; la magnitud de sismo empleada en este estudio es de 0.25 y el tiempo de recurrencia de 475 años, debido a la presencia de la Falla activa de Chiscas, muy cerca de la zona de estudio; para la zona de estudio se utilizó la Estación de Chiscas, el valor de precipitación media anual es de 497.10 mm, se encontró un periodo de retorno de lluvia crítica de 23 años, que corresponde a una probabilidad anual de 4%.

2.2.1.2 Análisis de Resultados y Zonificación

Fijos los comportamientos de las fuentes incertidumbre, las funciones de probabilidad de las variables se constituyeron en elementos fundamentales para la determinación de la función de probabilidad de falla de cada uno de los taludes potencialmente inestables estudiados en el numeral anterior.

Se realizaron múltiples corridas, contemplando para el método de Hoek (1,996) sólo los valores de las variables en el intervalo $\mu_x - \sigma_x$ y $\mu_x + \sigma_x$, con el fin de determinar el factor de seguridad (en cada caso) o para escenarios extremos de los parámetros de resistencia: C_{min} , ϕ_{min} , C_{max} , ϕ_{max} , entre otros; y de acuerdo con la acción individual o conjunta de los detonantes y para el tiempo de exposición considerado, si se trata del método de Rosenblueth.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la probabilidad de falla para la mayor parte de las laderas a excepción de: I-IB, II-IIB, III-IIIA, III-IIIB y V-VB, es alta (superior a 45%) (Ver planos de estudio anexos).

Dichas laderas, predominantemente coluviales y de suelo residual se disponen a lo largo del área de la Quebrada Surcabásiga, parte alta de la zona urbana del municipio de Guacamayas, lugar donde se hace necesario desarrollar obras de protección geotécnica con el fin de disminuir la probabilidad de falla en un tiempo corto.



La **Tabla 3.3** presenta una compilación de las funciones de distribución de falla para las condiciones actual y a 10 años, en los taludes estudiados obtenidas por el Método de Estimación de Punto, de acuerdo con los valores extremos de los parámetros de resistencia (c' y ϕ').

Las curvas de relación de probabilidad de falla por tipo de fenómeno y por tiempo de exposición, así obtenidas, se presentan en las **Figuras 3.1 y 3.2**. Con ayuda de ellas y conocida la composición estratigráfica y geotécnica de cada ladera de estudio y las distancias de viaje de las masas potenciales, fue posible obtener algunos de los productos más importantes de este trabajo, los Mapas de Zonificación por Amenaza Actual y a 10 años por deslizamiento y flujos de tierras (**Planos AMI-MG-06 a AMI-MG-09**, respectivamente).

En este sentido el área de estudio quedó dividida en tres categorías, catalogadas como de amenaza: baja, media y alta, a partir de la probabilidad de falla, como se indica en la siguiente Tabla.

Factor de Seguridad (FS)	Probabilidad de Falla (Pf)	Categoría de Amenaza
> 1.6	<0.09	Baja
1.6 - 1.1	0.09 - 0.45	Media
< 1	>0.45	Alta

Los sectores con amenaza alta por deslizamiento, se localizan al suroriente de la zona no involucra viviendas por estar localizadas en la parte baja (zona norte del área de estudio), y los sectores de amenaza alta por flujos de tierras involucran las viviendas de la zona urbana del municipio de Guacamayas; las zonas de amenaza baja se localizan hacia la zona alta de las márgenes de la quebrada; la zona de amenaza media comprende la parte occidental del proceso DR07 (Planos AMI-MG-06 y AMI-MG-08).

No obstante, para el periodo de exposición de 10 años, la condición de amenaza cambia en algunos sectores especialmente en la parte central de la zona.

2.2.2. VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

Se entiende por vulnerabilidad, la relación existente entre el grado de exposición de los elementos expuestos (ubicación con respecto al fenómeno amenazante) y la capacidad de respuesta (resistencia estructural, económica, y conocimiento de la amenaza) por parte de los mismos (infraestructura, medio ambiente y comunidad) ante la eventual ocurrencia de un evento destructor.

Para su evaluación se utilizó la fórmula que a continuación se presenta, propuesta por la firma INGEOCIM LTDA, 1998;

$$V = f(E/R)$$

Donde,

V : Vulnerabilidad

R : Resistencia del elemento expuesto ante la ocurrencia de un evento

E : Grado de exposición del elemento.



La evaluación de vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos amenazados frente a cualquier evento, en especial a los diferentes fenómenos de remoción en masa presentes en la zona de estudio y, junto con la evaluación de amenaza, plantear el (los) tratamiento(s) por adelantado. Dentro de este contexto, por ejemplo, si las viviendas se encuentran en zona de alta amenaza pero los elementos no se localizan en la zona de influencia o, se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y dependiendo de la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilización o a programas de reubicación.

El estudio de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó teniendo como fuente de información básica el "Formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento". La información de cada lote, construido o no, se encuentra consignada en la base de datos mencionada en el capítulo 2 y georreferenciada mediante la asignación de un código alfanumérico correspondiente a la letra de cada manzana y al número del lote dentro de la misma.

El citado formulario indaga sobre diferentes tópicos tendientes a establecer parámetros útiles para la evaluación tanto de la vulnerabilidad física como de la social. Para la primera, el análisis se realizó de manera semicuantitativa con adaptaciones específicas para este proyecto (más extrapolables para otros ámbitos) a la metodología propuesta por Leone (1996). Las adaptaciones se refieren a la resistencia de los elementos (tipología de viviendas), a la asignación del grado de exposición (a partir de las longitudes de viaje de las masas potencialmente inestables Finlay et al, 1999) y a la matriz de daño, elaborada con base en las anteriores. Para la segunda, la vulnerabilidad social, el análisis es apenas cualitativo y se basa en la información de los formularios como: el nivel de ingresos, la percepción de peligro, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y el índice de carencia de vivienda.

2.2.3. VULNERABILIDAD SOCIAL.

La vulnerabilidad social se definió como la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños; en este sentido se tomaron como componentes de análisis la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de estabilidad y de las actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas.

Aunque la capacidad de respuesta de la comunidad involucra el estudio de otros aspectos como la organización del municipio en lo referente a la alcaldía, juntas administradoras locales y juntas de acción comunal, puesto que son éstas las encargadas de actuar como intermediarias entre la comunidad y las entidades del Departamento de Boyacá, y de esa manera dar a conocer los procedimientos a seguir ante la ocurrencia de un desastre como un fenómeno de remoción en masa.

Percepción del Peligro:

En algunos sectores la comunidad reconoce estados reales y potenciales de peligro pues los deslizamientos rotacionales, translacionales y flujos, han afectado seriamente algunas residencias, hasta el punto de ser necesaria su reconstrucción.



Organizaciones Cívicas:

El municipio a través del alcalde canaliza y gestiona la solución de los problemas de inestabilidad de las zonas adyacentes a la quebrada Surcabasiga ante la Oficina Asesora para la Prevención y Atención de Desastres-CREPAD, de la Gobernación de Boyacá en Tunja.

Capacidad Económica de los Pobladores:

La contingencia o capacidad de respuesta económica para la población, medida por los ingresos brutos familiares se puede catalogar como media baja a baja, pues se presenta un valor modal inferior a un salario mínimo mensual (**Figura 4.1**). Este generalizado nivel de ingresos bajo no permitiría a los habitantes, en caso de presentarse un desastre, una recuperación rápida y sin traumatismos de su condición de vida actual, expresada en lote, vivienda y bienes, a pesar de que las familias son propietarias, contienen un alto número de personas por núcleo familiar.

Cobertura de servicios:

En general los habitantes de la zona urbana del municipio cuentan con servicios públicos básicos (**Figura 4.2**): agua potable, luz eléctrica, teléfono, la mayor parte de las vías del municipio son pavimentadas. El cubrimiento de gas domiciliario es nulo.

Tipología de las viviendas:

Si bien el tipo de vivienda y sus características físicas se analizarán dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas, son indicativo de calidad de vida de los habitantes. La mayor parte de las viviendas (**Figura 4.3 – Gráfica 1**) se consideran de calidad de construcción buena, la edad de construcción varía entre 1 y 40, el tipo de cubierta predominante es de teja de barro, eternit y plancha en concreto.

2.2.4. VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física de las viviendas ubicadas en la zona de estudio, se puede evaluar tomando en consideración aspectos sobre tipología de las viviendas, la cobertura de los servicios públicos y la calidad de la construcción, en este último aspecto, se puede hablar incluso del mantenimiento de la construcción.

Con fines prácticos, para la elaboración de este trabajo, se optó por evaluar la vulnerabilidad de las viviendas a partir del grado de exposición de estas ante el fenómeno amenazante (índice de exposición, IE) y del comportamiento de las construcciones en tal circunstancia (índice de resistencia, IR), siguiendo la siguiente metodología:

- Se determinó la ubicación de la vivienda frente a fenómenos de remoción en masa (**Tabla 4.3**)
- Se calcularon los índices de resistencia.



- Con los índices de resistencia y el grado de exposición, se obtuvo la resistencia movilizada, mediante la siguiente fórmula:

$$RM = (1-IR^{IE})^{(1-IE)}, \text{ (expresión matemática propuesta por INGEOCIM, 1998).}$$

Donde,
RM = Resistencia movilizada
IR = Índice de resistencia
IE = Índice de exposición

2.2.4.1 Índice de Exposición.

Esta variable cobra importancia dentro del análisis de vulnerabilidad física si se considera que si y solo si los elementos se encuentran dentro de la zona de influencia de los eventos (es decir, expuestos), pueden ser atacados por ellos.

La determinación del índice de resistencia involucro conocer el tipo de fenómeno a estudiar y su distribución espacial; en este sentido, todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: La Zona de Influencia Directa (ZID) definida como el área en la que tiene lugar el movimiento, la Zona de Influencia Indirecta (ZII) que corresponde a aquélla que puede ser invadido o afectado por la masa deslizada y una última denominada Zona de Influencia Nula (FZI), en donde no se espera ningún tipo de afectación.

De la evaluación geotécnica y con base en los diferentes fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del municipio (**Inventario de procesos Plano AMI-MG-05**), se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e Indirecta (ZII) y las no afectadas (FZI), para cada mecanismo, como se indica en el plano AMI-MG-05. El contacto de la primera zona fue definida gracias a las evidencias de campo; así para las laderas con posibilidad de deslizamiento rotacional o translacional y flujos de tierras, se consideró la proyección horizontal de la superficie crítica de estabilidad.

El límite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en la distancia de viaje de las masas inestables. Ella fue determinada a partir del patrón geométrico de las laderas estudiadas (secciones H-I a V-V) siguiendo los lineamientos presentados por Finlay et al (1999) y la propuesta formulada por Hoek (1996). La **Tabla 4.1** contiene los datos de ingreso para los cortes estudiados y las distancias de viaje estimadas para cada una. Con base en la localización de las viviendas dentro de las áreas de distribución espacial de los movimientos, se asignó el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su sollicitación sobre los elementos teniendo en cuenta la superficie de contacto que un deslizamiento pudiera provocar sobre los muros, dado que la sollicitación de este tipo de fenómenos corresponde a presiones laterales. La **Tabla 4.2** relaciona el tipo de evento y la sollicitación que recaería sobre las unidades físicas en cada una de las zonas de influencia.

De la evaluación geotécnica y, con base en la clasificación de los fenómenos de remoción en masa que afectan los elementos físicos del sector (inventario de procesos, Plano AMI-MG-05), se determinaron las zonas de afectación directa (ZID) e indirecta (ZII) y las no afectadas (FZI) para cada mecanismo. La primera fue definida considerando la proyección horizontal de la superficie crítica de estabilidad (secciones de análisis HIA a V-VB) y el límite externo de la zona de influencia indirecta (ZII) se obtuvo con base en las evidencias



de campo de los fenómenos de remoción en masa desarrollados y en la distancia de viaje de los cuerpos inestables; esta última fue determinada a partir del patrón geométrico de los taludes estudiados (mismas secciones) y del proceso de inestabilidad aplicando las ecuaciones presentadas por Finlay et al (1999). La **Tabla 4.1** contiene los datos de ingreso para los cortes estudiados y las distancias de viaje estimadas para cada uno. A partir de este límite y alejándose del fenómeno, se considera que cualquier elemento se localiza fuera de la zona de influencia (FZI). Y el inventario para cada lote, el tipo de evento que lo amenaza o podría hacerlo, la zona de influencia en la que se localiza.

Con base en la localización de las viviendas dentro de las áreas de distribución espacial de los movimientos, se asignó el índice de exposición intentando considerar la magnitud de los eventos y su sollicitación sobre los elementos teniendo en cuenta la superficie de contacto (SC) que un deslizamiento pudiera provocar sobre los muros, dado que la sollicitación de este tipo de fenómenos corresponde a presiones laterales y, el volumen del material deslizado es un indicativo de la magnitud de estos procesos.

Los análisis efectuados permitieron determinar la afectación potencial de las viviendas de acuerdo a su ubicación dentro de la zona de influencia de los procesos de inestabilidad, de la siguiente manera:

Las viviendas localizadas en la ZID se tomó un valor SC = 0.75, ZII el valor SC = 0.35 a 0.45 y FZI un valor SC = 0.09.

2.2.4.2 Índice de Resistencia (IR)

En términos generales, la importancia de evaluar la resistencia radica en que a mayor resistencia de los elementos, la vulnerabilidad física es menor. Aunque la resistencia de la vivienda como conjunto está determinada por la de sus componentes, en el presente estudio, se estimó un comportamiento integral asociado a la clase de sistema estructural; no obstante lo anterior, éste es el reflejo, en alguna medida, de las partes. En la **Figura 4.3 - Gráficas 3, 4, 5 y 6** - se muestra, los tipos de cobertura, estructura de techo, estructura de la placa de piso y el sistema estructural.

Retomando la concepción de cualificar el comportamiento de las viviendas, integralmente éstas fueron discriminadas según el sistema estructural, la calidad de sus materiales y su calidad constructiva en:

- **Recuperación y Palafitos:** Encierran viviendas construidas con sistemas estructurales muy precarios en madera y sin un correcto sistema de transición de cargas al suelo de fundación; en materiales como cartón, lata y madera; sin sistema de cimentación; con techos construidos en zinc, madera, lata, cartón y mixtos; la calidad se considera baja.
- **Prefabricados:** Como su nombre lo indica, son viviendas modulares en concreto, de media a baja calidad constructiva cimentadas sobre placas delgadas del mismo material; la estructura del techo es en madera y su cubierta en teja de asbesto - cemento.
- **Vivienda en Mampostería:** Contempla todas las viviendas de uno ó dos pisos, cuyos muros son en mampostería con diferentes tipos de elementos de amarre estructural, donde ellos hacen las veces de unidades de soporte. Con calidad



constructiva que oscila desde alta hasta regular; la cubierta usualmente es de asbesto, cemento ó zinc.

- **Vivienda hasta dos niveles:** de buena calidad de construcción con estructura. Estas unidades involucran sistemas aporticados con placas de entresijos cuyos materiales de cubierta pueden ir desde la teja en asbesto - cemento hasta concreto.

El índice de resistencia utilizado para evaluar la vulnerabilidad se midió a partir de las componentes del sistema estructural de las viviendas como son: la cubierta, C, la estructura de techo, T, y el tipo de sistema estructural, SE (**Tabla 4.3**), y el tipo de material constitutivo de cada componente. Sin embargo, vale la pena mencionar que el mejor parámetro de resistencia debería obtenerse de ensayos in-situ sobre los componentes estructurales.

Los criterios de evaluación fueron adoptados en forma discreta para toda el área de estudio. Esto significa que la valoración de los parámetros involucrados se realizó discriminando tanto por el tipo de solicitud (FRM) como por la ubicación de la vivienda ante ella.

A las variables mencionadas se les asignó un grado de contribución a la resistencia, simulando que en todos los casos los cuerpos movidos ejercen presiones laterales, así:

- **Tipo de cubierta.** Ésta puede aportar un 20% de la resistencia de la vivienda ante un fenómeno de remoción en masa. En el municipio de Guacamayas predominan las cubiertas en teja y concreto (**Figura 4.3C**).
- **Estructura de techo.** El material de la estructura de techo fue incluido como elemento aportante en un 20% de la resistencia total de la vivienda. La estructura de mayor predominio en Guacamayas es la de madera seguida de concreto reforzado (**Figura 4.3D**).
- **Sistema Estructural.** Otra de las variables involucradas es el tipo de sistema estructural, siendo éste el elemento considerado con mayor aporte, 60%. La **Figura 4.3E** muestra la composición de las unidades residenciales por sistema estructural según los datos obtenidos en la encuesta. La mayor parte de las viviendas están conformadas con sistemas aporticados con tabiques y con muros portantes.

El aporte de cada tipo de material para los componentes estructurales se realizó de forma cualitativa. Los valores fueron asignados entre 0 y 1 (de menor a mayor capacidad de respuesta), intentando calificar su contribución como elemento reductor de la energía cinética de las masas inestables.

La **Tabla 4.4A** contiene las cantidades asignadas, de ella se aprecia que las unidades construidas en concreto reciben las mayores calificaciones: 0.85.

Por último el índice de resistencia se definió a partir de la siguiente relación:

$$IR = 0.2*C + 0.2*T + 0.6*SE$$

Donde,

IR : Índice de resistencia



C : Valor asignado para tipo de cubierta

T : Valor asignado para tipo de estructura de techo

SE : Valor asignado para tipo de sistema estructural

Los resultados del análisis con este índice indican una distribución modal de 0.60 (**Figura 4.4**), lo que puede traducirse en una resistencia media de las viviendas.

2.2.4.3 Intensidad e Índice de Daño (InD e ID).

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos variables: El de exposición y el de resistencia; el primero involucra el tipo de evento (deslizamientos translacionales o rotacionales, flujos, etc.), la localización de las viviendas con respecto al mismo y la sollicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, la calidad, propiedades y atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensan en la tipología. La contribución de las variables ya expuestas se registra en la matriz de intensidad de daño (**Tabla 4.4**). Esta intensidad se cuantifica desde Muy Baja (I), hasta Muy Alta (V) y se formula con un índice de daño (ID) que representa el porcentaje de destrozos en la vivienda. La reciprocidad entre las dos variables, InD e ID, fue establecida por el DRM (Delegation aux Risques Majeurs) y se consigna en la **Tabla 4.2B**.

2.2.4.4 Índice de Vulnerabilidad Física (IVF)

Con los índices de resistencia y exposición hallados anteriormente, se calculó la resistencia movilizada (RM) que es una expresión de los posibles daños provocados al elemento expuesto por un fenómeno, para lo cual se buscó una ecuación que cumpliera con las siguientes condiciones:

Cuando IE = 0, RM = 0.

Cuando IE = 1, RM = 1.

Para cualquier valor de IR e IE, $1 \geq RM \geq 0$.

Pueden existir innumerables funciones que cumplan con las anteriores condiciones, sin embargo para fines prácticos se adaptó la ecuación propuesta por Ingeocim (1998), reemplazando el índice de vulnerabilidad por deslizamiento, IVD, por la RM y el índice de vulnerabilidad física, IVF, por el índice de exposición, IE:

$$RM = [1 - (IR)^{IE}]^{(1 - IE)}$$

Donde,

RM : Resistencia movilizada.
IR : Índice de resistencia.
IE : Índice de exposición.

De esta manera, se estableció un paralelo entre la RM y la matriz de daño presentada por el D.R.M. que se muestra en la **Tabla 4.4B** y que involucra el tipo y la magnitud del evento y la sollicitación de los elementos, mediante la ecuación:



$$InD = 1+4*RM$$

En la que una $InD = 1$ (I), equivale a daños leves y una $InD = 5$ (V) que es la máxima, corresponde a daños severos.

Adicionalmente, y a partir de las descripciones de la Intensidad de daño del DRM se estableció el Índice de Daño, ID, que sería un equivalente del Índice de Vulnerabilidad Física si la confiabilidad de los datos fuera del 100%. De acuerdo con las condiciones propias del presente estudio, se asumió que ésta es del 80%, lo cual indica que:

$$IVF = ID/CfF$$

Donde:

CfF es el coeficiente de confiabilidad = 0.8

Así, el IVF, grado de vulnerabilidad, se dividió en tres grupos, como se indica en la **Figura 4.5**.

El índice de vulnerabilidad física calculado mediante la fórmula del numeral 4.2, muestra que mientras menor sea la resistencia de los elementos expuestos, la vulnerabilidad será mayor; en la **Tabla 4.3** se muestran los cálculos respectivos y en la **Figura 4.4** exhibe el análisis de frecuencia de índice y de la cualificación de la vulnerabilidad con base en los siguientes criterios:

IVF	Categoría de vulnerabilidad
0 – 0.12	Baja
0.12 – 0.4	Media
0.4 - 1	Alta

2.2.3 RIESGO ACTUAL

El riesgo incurrido en una zona o elemento, frente a una solicitud determinada, se puede expresar como el producto de la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (amenaza actual – Pf.), Con el índice de vulnerabilidad de los elementos expuestos, sobre la confiabilidad de la información recolectada la cual fue asumida 0.8, en un rango de 0 a 1.

$$\text{Riesgo} = Pf * IVF / 0.8$$

El índice de riesgo actual, IRA, corresponde a un valor entre 0 y 1, donde los menores niveles de riesgo son cantidades cercanas a cero (**Tabla 4.5**). Si bien el intervalo de valores del IRA posee como límite superior la unidad, la pérdida de la mitad de una vivienda puede asumirse como crítica. Ello permitió concluir que los intervalos de categorización (**Figura 4.5**) no podrían expresarse de manera similar a las de los índices anteriores, por lo tanto se adopto como intervalos de cualificación en indicado en la siguiente tabla.



IRA	Categoría de Riesgo Actual
< 0.01	Bajo
0.01 – 0.18	Medio
>0.18	Alto

El **Plano AMI-MG-11** ilustra el resultado obtenido, el cual indica que las ciento treinta y cinco viviendas existentes en la zona urbana del Municipio, están en zona de alto riesgo.

En aras de reducir la amenaza y / o la vulnerabilidad en el municipio, se discutirán, una serie de medidas tendientes a mitigar de esta manera el riesgo.

2.2.4. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS CORRECTIVAS DEL RIESGO ACTUAL

Tal vez el mayor beneficio del análisis de riesgo actual radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos de inestabilidad en los frentes de mayor peligro. Las obras, en consecuencia, pretenden estabilizar los movimientos o controlar los niveles de vulnerabilidad, bien disminuyendo las áreas de exposición o bien reforzando las unidades físicas.

El objeto de este proyecto, surge entonces, la necesidad de estudiar en adelante el papel de un abanico de medidas correctivas, que fueron emergiendo de los temas tratados en los capítulos anteriores. Los criterios de decisión consistirán en un análisis comparativo, en términos cualitativos, del riesgo para la condición actual y del riesgo para los escenarios con la implementación de cada una de las obras.

La definición de riesgo, implica determinar explícitamente la eficiencia y eficacia de las alternativas en la reducción de la condición de amenaza y vulnerabilidad. El nivel de riesgo actual es alto, en algunos sectores, producto del grado de exposición de las viviendas; con el fin de minimizar el riesgo, se realizó el análisis de vulnerabilidad futura (con obras), en este caso se analizaron obras de mitigación consistente en obras de drenaje; las cuales controlan o disminuyen la probabilidad de falla, no se analizaron obras de contención por ser de difícil aplicación y alto costo en el área de estudio.

A partir de los resultados del mapa de riesgo, se consideró prioritario atender los sectores del cauce de la quebrada que presentaban mayores procesos de inestabilidad; sectores que se hallan expuestos por amenaza de deslizamientos especialmente en periodos lluviosos. Se propone la reconfiguración general del terreno, mediante el sellado de grietas de tracción, complementado con la puesta en marcha de un sistema de drenaje subsuperficial.

2.2.5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y SISTEMAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE.

A partir de los resultados del mapa de riesgo, se consideró prioritario atender sectores, ubicados a lo largo de las laderas de la quebrada Surcabásiga al sur del área de estudio. Sectores que se hallan expuestos por amenaza de deslizamientos y flujos de tierras especialmente en periodos lluviosos. Se propone la construcción de sistemas de drenaje subsuperficial y sellado de grietas de tracción.



2.2.6 EVALUACIÓN DE AMENAZA FUTURA

Las condiciones de amenaza actual, oscilantes entre media y alta, dimensionadas por la diversidad de los procesos, son el reflejo del poder destructivo del hombre, coadyuvado por las particulares condiciones estratigráficas del sector, con dominio de materiales arcillosos altamente susceptibles a fenómenos de inestabilidad y erosión.

El especial matiz de la amenaza actual y el particular panorama de los elementos en riesgo, de baja resistencia, dispuestos sobre las áreas de influencia directa o indirecta de los procesos de inestabilidad hacen del tratamiento de los sectores un marco de compleja solución. Las obras tendientes a la reducción del grado de amenaza deben ser de fácil maniobrabilidad y construcción. La valoración de las medidas de mitigación contempló así, determinar su capacidad reductora de probabilidad de falla de las laderas. El desarrollo de este tema involucró asumir válidas las variables aleatorias c' y ϕ' , la aceleración sísmica (a) y los modos de falla estudiados en el Capítulo 4. Por lo tanto la estimación de la probabilidad de falla se redujo a la determinación del factor de seguridad de cada sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva para los parámetros de resistencia y las variables ambientales (lluvia y sismo) promedio (**Tabla 5.1 y 5.2**); a partir de éste pero con base en las curvas de probabilidad general, **Figura 3.1**, obtener la probabilidad de ocurrencia (o nivel de amenaza).

Los sectores inestables, se caracterizaron con la ayuda de las secciones I-I a V-V, muestran la influencia del agua en la inestabilidad del material de relleno, por ello la solución planteada se enfoca a la evacuación de la misma mediante un sistema de drenaje y subdrenaje muestra factores de seguridad a condición promedio (sismo de 0.25, parcialmente saturado, $c'=2.7$ KPa y $\phi'=19^\circ$) entre 0.94 y 1, con probabilidades de falla de 0.56 a 0.62 (combinando sismo, lluvia, c' y ϕ' máximos y mínimos).

Los sistemas de Drenaje y Sub-drenaje están conformados por una serie de cunetas-dren en trinchera en espina de pescado que intercepta el agua desde las partes altas de cada terraza y vierten a la cuneta-dren principal y luego a la Quebrada Surcabásiga. Las secciones típicas se encuentran en la **Figuras 5.1 y 5.2**.

Para el análisis esta alternativa muestra factores de seguridad a condición promedio de 1.03 a 1.36 y probabilidad de falla 0.20 a 0.48.

La **Tabla 5.3**, condensa los resultados del análisis de amenaza futura de los sectores de estudio donde se incluyen los parámetros promedio, la solución propuesta y el mecanismo de falla para cada ladera y las **Tablas 5.4 y 5.5** presentan, los precios unitarios, las cantidades de obra y el presupuesto de las obras propuestas.

2.2.7 VULNERABILIDAD FUTURA

Los escenarios antes y después de la ejecución de obras son diferentes, es decir, las zonas de exposición se modifican y dan lugar a un cambio en el índice de vulnerabilidad física, este cambio se considera significativo. Sin embargo, durante la toma de decisiones, se asumirá vigente el índice de vulnerabilidad física actual. En este orden de ideas, el lector deberá interpretar que el modelo espacial de comportamiento de los elementos expuestos, ante potenciales fenómenos de remoción en masa, no cambia.



2.2.8 MODELO DE DECISIÓN DE RIESGO

La implementación de un modelo de decisión probabilístico, permite al diseñador seleccionar entre múltiples alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo donde predominaría el juicio del experto. Dichos modelos están basados en un análisis comparativo entre los niveles de riesgo alcanzados por las medidas de mitigación (lo que se traduce en la comparación entre los costos esperados en pesos para ellas).

Uno de los procedimientos de análisis de decisión más claros y simples es el conocido como “Árbol de decisión hipotético”. Con el fin de adelantar este tipo de análisis se adoptó como definición de riesgo la propuesta por Wu et al (1996), la cual estipula:

$$R = Pf * Cf$$

Donde:

R: Riesgo asumido
Pf: Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,
Cf: Consecuencia o costo de falla

Para el caso en estudio, la evaluación de probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitación, se encuentra compilado en el numeral 5.1. Por su parte, el costo de falla, en pesos, se consideró como:

$$Cf = I.V.F. * Co + I.V.F_A * Ci$$

Donde:

I.V.F.: Índice de vulnerabilidad física de la unidad expuesta
Co: Valor inicial del elemento expuesto (en pesos)
I.V.F_A: Índice de vulnerabilidad física de la alternativa
Ci: Valor de inversión de la obra (en pesos)

El índice de vulnerabilidad física de la unidad expuesta para cualquier circunstancia y dado el papel a desempeñar de las estructuras, será equivalente a 0.5 (vulnerabilidad física de las obras). No se desprecia que la anterior condición puede resultar muy conservativa.

La **Figura 5.3** ilustra el riesgo económico asumido para las diferentes alternativas en los sectores analizados, en los que se consideró que el costo esperado en el caso de “No hacer nada” era equivalente al valor de daño de las viviendas en las manzanas afectadas más su valor de reubicación asumida como el promedio de las viviendas por el número de viviendas; para la “reubicación” se adoptó el valor promedio de viviendas por el número de viviendas. Se analizaron las siguientes alternativas: no hacer nada, y la remoción y reconfiguración de la ladera con obras de drenaje; la alternativa mas económica es no hacer nada, sin embargo, considerando el riesgo y las perdidas que puede ocasionar al producir procesos de inestabilidad de las laderas. Por lo anterior se espera para cualquier componente móvil (personas, animales, etc) un alto costo de pérdida esperada, por lo tanto toda medida tendiente a su protección esta plenamente justificada, razón que sopesa el rechazo a la propuesta de convivir con el problema.



2.2.9 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

La atención del municipio de Guacamayas, bajo un marco global, destinada a la reducción de los escenarios de riesgo, posee dos grandes componentes: el manejo del agua de escorrentía y la subsuperficial y la reubicación, integradas de la siguiente manera (**Plano AMI-MG-12**).

Drenaje: El drenaje como medida de mejoramiento del problema de inestabilidad juega un papel importante, debido a la infiltración que se puede generar por lluvias o al manejo incorrecto de las aguas de regadío, es necesario la construcción de obras de drenaje que permitan el manejo correcto del agua de escorrentía, ocasionada por los orígenes antes mencionados, que es un factor contribuyente a los procesos de erosión e inestabilidad de la zona a largo plazo.

Las obras de drenaje superficial para realizar el manejo correcto, control y evacuación del agua colectada son los filtro-dren, canal superficial colector de aguas, cunetas-dren, con secciones tipo trapezoidal y construidas en concreto reforzado sobre una superficie firme y bien compactada.

2.2.10 DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

La selección de obras para la mitigación del riesgo de las viviendas en las zonas de exposición. Las obras sugeridas cumplirán la función de reducir el potencial de erosión y obviamente el papel del agua como agente detonador de eventos o fenómenos de inestabilidad. En las laderas de la quebrada Surcabásiga se diseñaron las siguientes obras de mitigación y planteamiento paisajístico, con el fin de mejorar física y paisajísticamente, las cuales se muestran en el **Plano AMI-MG-12** y se describen a continuación:

Las secciones utilizadas tanto para el análisis de estabilidad como para el cálculo de las cantidades de obra de corte, se incluye en el **Plano AMI-MG-12** y en las **Figuras 5.1 y 5.2**. En éstas se observa el aumento de los factores de seguridad, lo que implica disminución de las zonas de exposición.

Drenaje y subdrenaje. Un conjunto de cuneta dren longitudinales, alimentados por una serie de cuneta dren en espina de pescado localizados transversalmente en los taludes, con una longitud total de 1.545,90 metros lineales, captarán el agua de escorrentía que induce procesos de inestabilidad actualmente. La entrega de estas cunetas dren trapezoidales se realizarán a la quebrada Surcabásiga en la cota 2625.20 m.s.n.m.

Sobre la quebrada Surcabásiga, (sector del proceso DR07) se recomienda reconfigurar el actual cauce con una cuneta-dren trapezoidal de 436,80 metros lineales, con el fin de disminuir el continuo cárcavamiento del cauce, lo cual da origen a procesos de inestabilidad de las márgenes, la entrega final, se realiza mediante un descole en piedra pegada de 43,50 metros de longitud.

En la parte alta, nacimiento de la quebrada, se propone la construcción de canales superficiales colectores de aguas de 3.258,50 metros lineales, con el propósito de captar las aguas lluvias y de escorrentía superficial presentes en estas laderas.



Con base en los precios unitarios registrados en la **Tabla 5.4**, se estimó el costo de las obras en TRESCIENTOS SEIS MILLONES CINCUENTA Y CUATRO MIL SEISCIENTOS SESENTA Y CINCO PESOS (\$306,054,665.00), incluido el A.I.U., valor total antes de IVA (**Tabla 5.5**). Las especificaciones técnicas se presentan en el **Anexo 4**.

En el **Plano AMI-MG-12**, se muestran las obras de mitigación, con el fin de mejorar físicamente los sectores que presentan mayores problemas de inestabilidad, y se describen a continuación:

Relleno y perfilado de las grietas de tracción. Las grietas de tracción debe ser rellenadas con material fino, de carácter impermeable, compactada para evitar las infiltraciones de agua lluvia o de regadío a través de ellas.

Drenaje y subdrenaje. Un conjunto de cunetas-dren longitudinales, alimentadas por una serie de cunetas-dren en espina de pescado localizados transversalmente en el talud, captará el agua de escorrentía que induce procesos de inestabilidad actualmente. La entrega de estas cunetas dren trapezoidales se realizara a la quebrada Surcabásiga. La entrega a la quebrada, se realiza mediante descoles en piedra pegada (**Tabla 5.6**).

La secciones I-I a VI-VI, utilizadas para el análisis de estabilidad y el cálculo de las cantidades de obra de estabilización, se incluyen en el Plano AMI-MG-12. En éstas secciones, se observa que los taludes presentan buena estabilidad disminuyendo en gran medida el grado de amenaza de las viviendas de la parte urbana del municipio.

2.2.11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE RIESGOS EN GUACAMAYAS

Los principales escenarios de riesgo coinciden con las zonas de amenaza alta. En general, el riesgo en el área urbana se considera mitigable con la implementación de obras de protección geotécnica en las zonas inestables.

El objetivo principal del presente estudio consistió en la determinación de los diferentes niveles de riesgo dentro del marco establecido, generados por los problemas de inestabilidad y con base en ello se propuso una serie de medidas tendientes a mitigarlo.

Las soluciones tienen como soporte un análisis conjunto de la amenaza, medida en términos de probabilidad de falla y de la vulnerabilidad que representa los daños que sufrirían los elementos físicos en caso de ocurrencia de los eventos.

Dentro del contexto del estudio se demarcan diversos problemas de estabilidad importantes que fueron analizados y comentados a lo largo del informe, estos problemas son de carácter inducido, es decir, predisuestos o detonados gracias al papel del hombre, cuyo rol transformador se encuentra en las técnicas destructivas de explotación que producen una mayor susceptibilidad de los materiales a fenómenos de remoción en masa, la formulación de cortes verticales pronunciados y con orientaciones desfavorables. En este sentido, los escenarios de riesgo asociados a los eventos amenazantes, se originan por la exposición de elementos móviles.

El análisis de amenaza destaca como principal proceso de remoción en masa los deslizamientos translacionales y rotacionales, flujos de tierras y la alta posibilidad de falla



de las laderas por estos mecanismos. Por esta razón surge como conclusión de la evaluación de amenaza actual, la necesidad de construir obras de drenaje que permitan reducir los niveles de riesgo.

Se recomienda construir las obras de drenaje con el ánimo de bajar el nivel freático de los diferentes taludes, para de esta manera disminuir las probabilidades de riesgo para los habitantes del municipio.

Se recomienda realizar un monitoreo continuo de las aguas de escorrentía y zonas de grietas con el fin de establecer posibles corrientes subterráneas y superficiales que conllevarían a la reactivación de zonas inestables de las laderas dado su alto grado de inclinación.