

3.3.3. Delimitación de unidades de terreno

Se establecieron unidades de terreno a partir de los procedimientos explicados, las cuales representan el grado de susceptibilidad a la ocurrencia de amenazas. En una misma unidad es posible encontrar susceptibilidad a varios tipos de amenaza con diferente grado. Las áreas de relativa estabilidad son aquellas donde no se tienen mayores evidencias sobre la manifestación de amenazas, lo cual no descarta del todo la posibilidad de que ocurran.

Escogidas las variables anteriores se realizó el mapa de susceptibilidad ambiental a la ocurrencia de amenazas en el Departamento de Cundinamarca (véase mapa No.2).

4. EVALUACION AMBIENTAL DE AMENAZAS

En este capítulo se muestran los principales resultados logrados de los análisis realizados mediante los procedimientos anotados anteriormente.

4.1. DISTRIBUCION DE AMENAZAS EN EL CONTEXTO AMBIENTAL

La superposición analítica de condiciones ambientales sobre los sitios que registraron amenazas, permitió realizar las generalizaciones espaciales que, interpretadas a la luz de cada variable, permiten conocer y explicar la racionalidad del comportamiento ambiental en cada unidad de terreno.

4.1.1. Localización

Un número de 133 amenazas fueron localizadas cartográficamente en el territorio de Cundinamarca para el cálculo de distribución de frecuencia dentro de cada una de las variables ambientales escogidas.

En la siguiente tabla puede apreciarse la proporción en relación al total de ellas:

Tabla 1: Número de amenazas localizadas

TIPO DE AMENAZA	Número	Porcentaje
Deslizamiento	51	38 %
Socavamiento	23	17
Movimiento en Masa	17	13
Solifluxión-Reptación	15	11
Avenida	8	6
Carcavamiento	7	5
Inundación	6	5
Avalancha	6	5
TOTAL	133	100

La proporción de deslizamientos es mayor que la de otros tipos de amenaza, seguida en orden descendente por socavamientos, movimientos en masa y soliflucción o reptación. Esto muestra que la clase de amenaza más importante o por lo menos más reportada en Cundinamarca, corresponde el tipo de movimiento o remoción en masa, flujos de sustrato y socavamiento lateral. Los reportes de carcavamiento son escasos posiblemente debido a que ésta es una amenaza de tipo económico que rara vez ocasiona situaciones de emergencia. Los casos seleccionados de avenida e inundación también son pocos (no permiten diferenciar fenómenos súbitos de lentos), pero pueden agruparse por su tipo, en un solo conjunto conceptual. Finalmente, las avalanchas son eventos que ocasionan más desastres y que afortunadamente se presentan esporádicamente en este departamento.

Existe mayoría de reportes de avenidas, avalanchas, socavamiento, soliflucción y carcavamiento, relacionados con áreas urbanas. En áreas rurales los reportes son menores para todos los tipos de fenómenos, a excepción de avalanchas (50% del total de casos reportados). Los casos de deslizamiento e inundación, están principalmente relacionados con las vías departamentales investigadas (véase anexo No. 5).

Las siguientes tablas muestran la distribución de los fenómenos de acuerdo con los rangos establecidos en el análisis estadístico de frecuencia porcentual:

Tabla 2: Frecuencia de amenazas en vías departamentales, áreas urbanas y áreas rurales

VIAS DEPARTAMENTALES

ALTA FRECUENCIA	MEDIANA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
- Deslizamientos - Inundaciones	- Avenidas - Soliflucción - Carcavamiento - Socavamiento	- Avalanchas - MM no diferenciados

AREAS URBANAS

ALTA FRECUENCIA	MEDIANA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
- Avenidas - Socavamiento - Soliflucción	- Deslizamientos - Avalanchas - MM no Diferenciados - Carcavamiento	- Inundaciones

AREAS RURALES

ALTA FRECUENCIA	MEDIANA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
	- Avenidas - Avalanchas - MM no Diferenciados - Soliflucción	- Inundaciones - Deslizamientos - Socavamiento - Carcavamiento

4.1.2. Variables Ambientales

– Patrones de Precipitación y Régimen Climático

La evaluación para estas variables se hizo con base en el mapa climático (Olivera, 1982), para el cual se proporciona una explicación textual en el Anexo No. 3. El mapa involucra ocho macro-regiones definidas por los patrones de precipitación I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII, representados por los histogramas incluidos en el Anexo No. 2, y ocho tipos de regímenes climáticos establecidos a partir de las ofertas de radiación solar anual y de precipitación, siguiendo la clasificación Köppen:

Af :Forestal, cálido, lluvia todo el año

Am :Forestal, cálido, período seco compensado

Aw :De Sabana, cálido, con invierno (hemisférico) seco

As :De Sabana, cálido, con verano (hemisférico) seco

Cf :Mesotérmico, lluvia todo el año

Cs :Mesotérmico, con sequía estival

Cw :Mesotérmico, con sequía invernal

Et :Tundra, frío a nival

En las áreas representadas por los histogramas I y II se localizó la mayor cantidad de amenazas, seguidas por la macroregión correspondiente al histograma VI para todas las amenazas exceptuando el carcavamiento. En las áreas tipificadas por los patrones representados por los histogramas V, VII y VIII ocurren casos con menor frecuencia, tales como avenidas, socavamiento, solifluxión y algunos movimientos en masa, derrumbes y deslizamientos. En las áreas en las cuales aparecen los histogramas de tipo III y IV no se consignaron eventos.

En cuanto a los Regímenes climáticos, se encontró que dentro de la región Af se presenta la mayor cantidad de amenazas, existiendo una menor frecuencia porcentual del tipo inundación, socavamiento y deslizamiento. Los regímenes Am y Cf presentaron con frecuencia mediana deslizamientos, avenidas, avalanchas, movimientos en masa, socavamientos, carcavamiento y derrumbes.

Ocurrieron casos aislados de movimientos en masa y solifluxión en el régimen Aw. En As hubo eventos de deslizamiento, avenidas, socavamiento y carcavamiento con frecuencia baja. En Cs, Cw y Et se presentaron singularmente fenómenos del tipo deslizamiento, movimiento en masa, solifluxión o reptación e inundación.

En la siguiente tabla se resume la jerarquización por rangos de los fenómenos naturales con respecto a éstas variables climáticas:

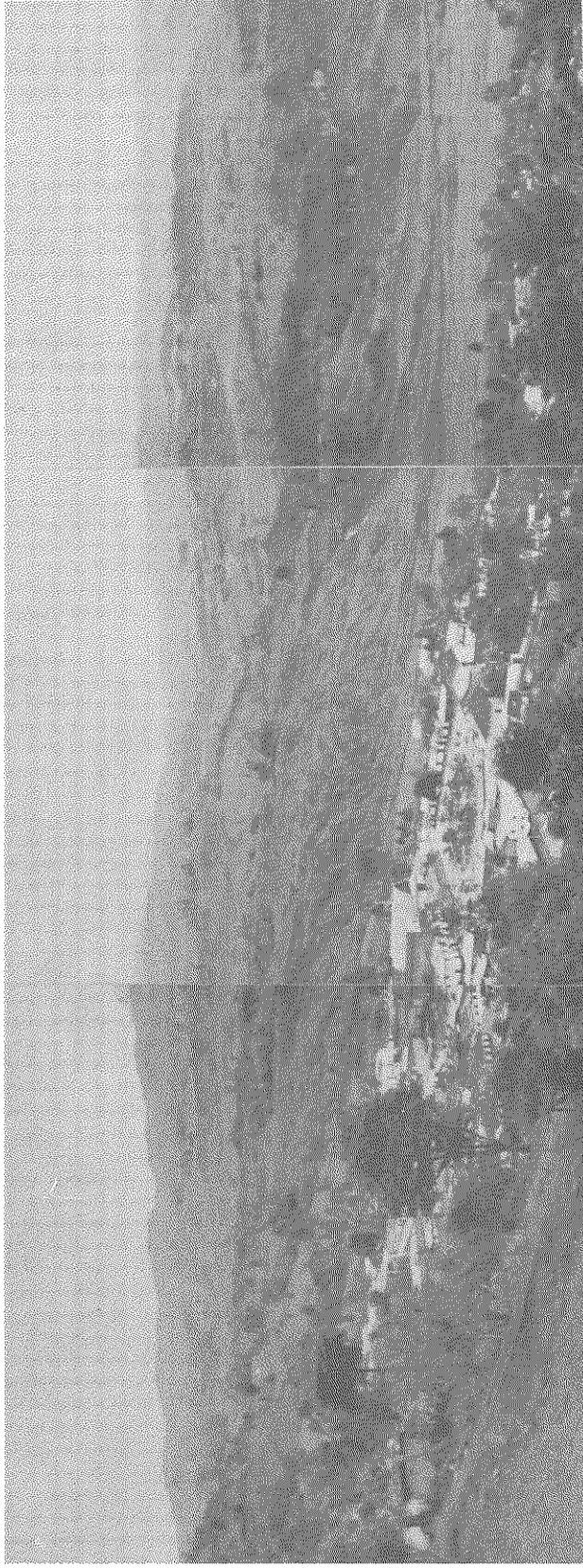
Tabla 3: Distribución de amenazas en relación con el clima.

PATRON DE PRECIPITACION	TIPO DE AMENAZA		
	ALTA	MEDIA	BAJA
PATRON DE PRECIPITACION			
–Deslizamientos	I, II	VI, VII	III, V, VIII
–Avenidas	II	I, V, VI, VII	III, IV, VIII
–Avalanchas	I, II	VI	III, IV, V, VII, VIII
–MM no Diferenciados	I, II	VI	III, IV, V, VII, VIII
–Socavamiento	I, II	VI, VII	III, IV, V, VIII
–Soliflucción	II	I, VI	III, IV, V, VII, VIII
–Carcavamiento	I, II		III, IV, V, VI, VIII
–Inundaciones	I	II, V, VI	III, IV, VII, VIII
REGIMEN CLIMATICO			
–Deslizamientos	Af	Am, Cf	Aw, As, Cs, Cw, Et
–Avenidas	Af, Cf	As	Am, Aw, Cs, Cw, Et
–Avalanchas	Af	Am	Aw, As, Cf, Cs, Cw, Et
–MM no Diferenciados	Af	Am, Cf	Aw, As, Cs, Cw, Et
–Socavamiento	Af	Am, As, Cf	Aw, Cs, Cw, Et
–Soliflucción	Af	Am	Aw, As, Cf, Cs, Cw, Et
–Carcavamiento	Af	Am, As	Aw, Cf, Cs, Cw, Et
–Inundaciones	Af, Cf	Cs	Am, Aw, As, Cw, Et

Como era de esperarse, los espacios sometidos a una alta intensidad pluvial encierran los problemas más frecuentes.

– **Geología:**

La composición litológica es visiblemente importante en la definición de fenómenos (véase códigos y leyenda en anexo No. 3). Los movimientos en masa no diferenciados, deslizamientos y avalanchas ocurren típicamente en el Grupo Villeta (Kv) y en sedimentos cuaternarios no diferenciados (Q). La frecuencia de los eventos en las anteriores litologías, oscila entre el 67% y 94% del total de casos reportados, siendo en las avalanchas menor y en los denominados movimientos en masa no diferenciados, mayor.



San Cayetano. Diciembre 28/90. Proceso de reptación de 3.500 ha, paralelo al pueblo, en dirección al Río Negro. (Manuel F. Olivera).

Una alta frecuencia de socavamientos e inundaciones (52% y 67% del total de casos analizados, respectivamente), se da en formaciones del cuaternario: sedimentos cuaternarios no diferenciados (Q), sedimentos de llanuras aluviales (Qal) y depósitos aterrizados de origen fluvial (Qt). Ocasionalmente, se presentan también fenómenos de estos tipos en el grupo Villeta (Kv).

El reptamiento o soliflucción y el carcavamiento también tienen una clara ocurrencia en el grupo Villeta (Kv) y en sedimentos cuaternarios no diferenciados (Q); sin embargo, la frecuencia porcentual de los fenómenos de carcavamiento es mayor en este grupo que la de fenómenos de reptación o soliflucción (aprox. 86% y 46.7% de estos eventos respectivamente).

Tabla 4: Distribución de amenazas en relación con la geología.

GEOLOGIA TIPO DE AMENAZA	RANGOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA (%)		
	ALTA	MEDIA	BAJA
- Deslizamientos	Kv, Q	Ki, Ktg, Kif, Kic, Tis, Tst	Otras formaciones
- Avenidas	Kv, Q	Kic, Ksch, Ki, Tis, Tsm, Tih, Qal	Otras formaciones
- Avalanchas	Kv, Q	Ki, Qt	Otras formaciones
- MM no Diferenciados	Kv, Q, Kic	Ktg, Kif, Ksch, Kiu, Kts, Tis, Tsc	Otras formaciones
- Socavamiento	Kv, Tis, Q, Qal	Kic, Kiu, Tib, Tst, Tih, Tsh	Otras formaciones
- Soliflucción	Kv, Kic, Q	Ktg, Kic, Ksch, Kiu, Kts, Tst, Tsc, Qt	Otras formaciones
- Carcavamiento	Kv	Tis, tih, Q	Otras formaciones
- Inundaciones	Q	Kv, Kif	Otras formaciones

– Suelos:

Los suelos (criterio agrológico), a partir de la información relacionada con su génesis, edad y composición, permiten establecer algunas relaciones.

La saturación de bases, está relacionado con el sustrato. Hay suelos que no contienen información sobre saturación de bases en la leyenda correspondiente (véase anexo No. 4).

Los deslizamientos, movimientos en masa no diferenciados y derrumbes tienen mayor frecuencia en suelos desaturados, oscilando ésta, entre el 52% y 63% del total de eventos catalogados y entre el 34% y el 38% del total de avenidas y socavamientos especificados. Así mismo, el 71% y el 83% de los fenómenos de carcavamiento e inundación respectivamente, se ubicaron cartográficamente en áreas con suelos desaturados.

Por otro lado, se puede apreciar la interrelación entre suelos poco a moderadamente evolucionados -tales como inceptisoles, entisoles y mollisoles-, con la localización de amenazas naturales (las zonas más inestables no permiten que los suelos alcancen su madurez), a excepción de los socavamientos y las avenidas, los cuales ocurren, con baja frecuencia en este tipo de suelos, manifestándose también en aquellos más evolucionados con vertisoles, alfisoles y oxisoles.

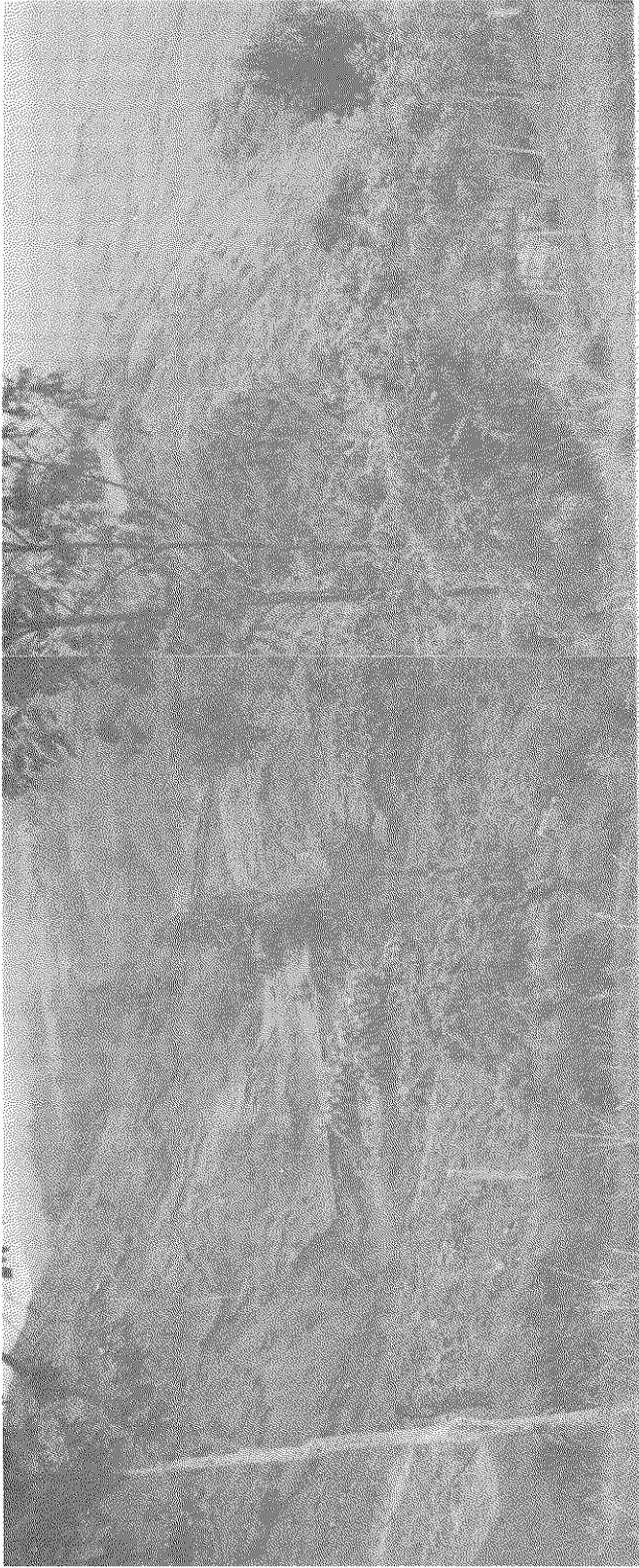
Las amenazas se dan recurrentemente en suelos de zonas montañosas, con excepción de las avenidas que se dan más frecuentemente en formas aluviales y/o lacustres. Las avalanchas y el reptamiento o soliflucción, se han reportado menos en el primer tipo de relieve, que los otros movimientos.

En la tabla 5 se sintetizan las anteriores anotaciones.

Tabla 5: Distribución de amenazas en relación con los suelos.

SUELOS TIPO DE AMENAZA	RANGOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA (%)		
	ALTA	MEDIA	BAJA
–Deslizamientos	Desaturados, inceptisoles, mollisoles, entisoles, de cordillera	Saturados, vertisoles, alfisoles, oxisoles, formas aluviales y/o lacustres	saturados, suelos con otra evolución, colinas, altiplanos
–Avenidas	desaturados, inceptisoles, mollisoles, entisoles, formas aluviales y/o lacustres	saturados, vertisoles, alfisoles, oxisoles de cordill.	saturados, suelos con otra evolución de cordillera
–Avalanchas	saturados, inceptisoles, mollisoles, entisoles de cordillera	desaturados, vertisoles, alfisoles, oxisoles, formas aluviales y/o lacustres	desaturados, suelos con otra evolución, colinas, altiplanos
–MM no diferenciados	desaturados, inceptisoles, vertisoles, mollisoles, entisoles, de cordillera y/o lacustres	saturados, alfisoles, oxisoles, formas aluviales	saturados, suelos con otra evolución, colinas, altiplanos
–Socavamiento	saturados, inceptisoles mollisoles, entisoles, vertisoles, alfisoles, oxisoles, de cordillera.	saturados, vertisoles, alfisoles, oxisoles, inceptisoles, mollisoles, entisoles, formas aluviales y/o lacustres y colinas	desaturados, suelos con otra evolución, altiplanos
–Soliflucción	desaturados, inceptisoles mollisoles, entisoles de cordillera	saturados, inceptisoles mollisoles, entisoles, formas aluviales y/o lacustres, y colinas	saturados, suelos con otra evolución, altiplanos
–Carcavamiento	desaturados, inceptisoles entisoles de cordillera, mollisoles	saturados, vertisoles, alfisoles, oxisoles, formas aluviales y lacustres y colinas	saturados, suelos con otra evolución, altiplanos
–Inundaciones	desaturados, inceptisoles, mollisoles, entisoles de cordillera	saturados, inceptisoles, mollisoles, entisoles, altiplanos	saturados, suelos con otra evolución, formas aluviales y/o lacustres y colinas

–Pendientes Medias



San Cayetano. Noviembre 28/90. Sector terminal del área de reptación. (Manuel F. Olivera).

El conjunto de los movimientos en masa especificados o no, se presenta principalmente en rangos del 12% al 35% de pendiente media, exceptuando la solifluxión, fenómeno que ocurre generalmente en rangos del 3% al 25%; las avalanchas se centran en rangos del 12% al 25% y el carcavamiento en rangos del 3% al 35% de pendiente media.

El resumen de la tabla 6 tipifica más claramente la relación entre la ocurrencia de las diferentes amenazas analizadas, con respecto a esta variable ambiental.

Tabla 6: Distribución de amenazas en relación con la pendiente media.

PENDIENTES MEDIAS (%) TIPO DE AMENAZA	RANGOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA (%)		
	ALTA	MEDIA	BAJA
– Deslizamientos	12 - 25; 25 - 35	35 - 50	< 3; 3 - 12; > 50
– Avenidas	< 3; 12 - 25	25 - 35; 35 - 50	3 - 12; > 50
– Avalanchas	12 - 25; 35 - 50	25 - 35	< 3; 3 - 12; > 50
– MM no Diferenciados	12 - 25; 25 - 35	3 - 12	< 3; 35 - 50; > 50
– Socavamiento	12 - 25; 25 - 35	< 3	3 - 12; 35 - 50; > 50
– Solifluxión	12 - 25; 25 - 35	3 - 12	< 3; 35 - 50; > 50
– Carcavamiento	12 - 25; 25 - 35	35 - 50	< 3; 3 - 12; > 50
– Inundaciones	12 - 25	< 3; 25 - 35	3 - 12; 35 - 50; > 50

– Cuencas según Orden de Drenaje Superficial

El análisis estadístico en relación con cuencas, se hizo a partir del cálculo de distribución de frecuencia de la ocurrencia de fenómenos amenazantes, tanto en las cuencas caracterizadas de acuerdo con el orden de drenaje que dió lugar a su delimitación, como en las características morfométricas de pendiente media y densidad de drenaje, para aquellas agrupadas dentro de la clasificación de orden 3. La definición de órdenes de drenaje en forma cartográfica escala 1:250.000, determinó la distribución presentada en la tabla 7.

La Tabla 7 indica que existe una importante cantidad de drenajes con órdenes inferiores a 3, mostrando una gran dinámica en la evolución del relieve y una alta capacidad erosiva proveniente de la energía cinética producida por los drenajes de orden 1 y de orden 2. Como ya se había anotado, la determinación del orden de drenaje depende de la metodología, la fuente de información y escala utilizadas.

**Tabla 7:
Número de cuencas de acuerdo al orden de drenaje superficial.**

ORDEN DE DRENAJE	NUMERO DE CUENCAS	PORCENTAJE DE CUENCAS
1	3.999	77.4
2	902	17.4
3	200	3.9
4	51	1.0
5	13	0.2
6	4	0.1
TOTAL	5.169	100.0

A medida que el orden de drenaje crece, los fenómenos naturales de tipo amenazante varían, puesto que el balance de energía cinética a potencial de las corrientes de agua, cambia en cada momento en función de todos los factores ambientales que intervienen en ese proceso, tales como el área de drenaje, el clima, la litología, la pendiente y la cobertura vegetal, entre otros.

No se consideraron necesarios los cálculos morfométricos de densidad de drenaje y pendiente media en cuencas de órdenes mayores, debido a las limitaciones propias de la escala de trabajo; las cuencas de los órdenes 1 y 2, deben ser objeto en el futuro del mismo tipo de análisis no realizado en esta oportunidad.

La selección de las cuencas de orden 3 para este análisis, obedeció a apreciaciones profesionales basadas en la importancia aparente que adquirirían estas cuencas, en relación con el comportamiento ambiental del territorio cundinamarqués, con lo cual se formuló una hipótesis que pudo finalmente ser rechazada.

Los resultados comparativos entre cuencas de orden 2 y orden 3 indican que es importante repetir el análisis, en prioridad, para cuencas de orden 2, tal como se deriva del siguiente cuadro. Tantos como 110 de 133 casos analizados se ubicaron en cuencas de orden 2 o 3:

Tabla 8:
Frecuencia de amenazas en relación con las cuencas de órdenes 2 y 3.

AMENAZA	F% ORDEN 3	F% ORDEN 2	F% O. 3 Y 2	TOTAL	%110	%133
Deslizamiento	8.0	20.0	19.0	47.0	42.7	34.3
Avenidas	1.0	4.0	1.0	6.0	5.5	4.4
Avalancha	1.0	4.0	1.0	6.0	5.5	4.4
M. en masa	4.0	3.0	4.0	11.0	10.0	8.0
Socavamiento	1.0	6.0	11.0	18.0	16.4	13.1
Solifluxión	2.0	2.0	6.0	10.0	9.1	7.3
Carcavamiento	2.0	2.0	3.0	7.0	6.4	5.1
Inundación	1.0	1.0	3.0	5.0	4.5	3.6
TOTAL	20.0	42.0	48.0	110.0	100.0	80.3
%(110)	18.2	38.2	43.6	100.0	100.0	
%(133)	14.6	30.7	35.0	80.3		80.3
TOTAL ORDEN 3 (%)				49.6	De un	
TOTAL ORDEN 2 (%)				65.7	total de	
TOTAL ORDENES 3 Y 2 (%)				35.0	133 casos	

Nota: F% es distribución porcentual de frecuencia

A partir de todo lo anterior y determinadas las cuencas para cada orden de drenaje superficial como se expresó anteriormente, pudo deducirse que: hay mayor ocurrencia general de fenómenos, en cuencas de orden 2 (algunos de los cuales también se encuentran en cuencas de orden 3), que en cuencas de orden 3; los casos de deslizamiento, avenidas, avalanchas y socavamiento son más frecuentes en cuencas de orden 2; movimientos en masa no diferenciados, solifluxión o reptación, carcavamiento e inundaciones son más frecuentes en cuencas de orden 1.

Sintetizando, las amenazas se distribuyen en orden descendente de acuerdo a su frecuencia, en cuencas de orden 6 (lo cual es esperable habida cuenta que incluyen la mayor parte de las cuencas de otros órdenes), cuencas de orden 2, cuencas de orden 1, cuencas de orden 5, cuencas de orden 3 y cuencas de orden 4. En las cuencas de órdenes medios (3 y 4) se localizaron amenazas con frecuencia menor y en el orden 4 no se presentó ningún fenómeno de avenida.

La distribución de frecuencia de los eventos amenazantes en cuencas hidrográficas definidas de acuerdo con los órdenes de drenaje, se especifica a continuación:

Tabla 9: Distribución de amenazas en relación con las cuencas definidas por el orden de drenaje superficial.

CUENCAS DEFINIDAS POR EL ORDEN DE DRENAJE SUPERFICIAL TIPO DE AMENAZA	RANGOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA (%)		
	ALTA	MEDIA	BAJA
– Deslizamientos	orden 6	orden 1, 2, 4 y 5	orden 3
– Avenidas	orden 6	orden 1, 2 y 3	orden 4 y 5
– Avalanchas	orden 6 y 2	orden 1, 3, 4 y 5	ninguno
– MM no Diferenciados	orden 6	orden 1, 3, 4 y 5	orden 2
– Socavamiento	orden 6	orden 1, 2, 3, 4 y 5	ninguno
– Solifluxión	orden 1	orden 2, 3, 5 y 6	orden 4
– Carcavamiento	orden 6	orden 1, 2, 3 y 4	orden 5
– Inundaciones	orden 1 y 6	orden 2, 3 y 5	orden 4

– Morfometría Cuencas de Drenaje Orden 3

El estudio de las relaciones entre la ocurrencia de amenazas y los análisis morfométricos de densidad de drenaje y pendiente media, para cuencas de drenaje superficial de orden 3, muestran que son más frecuentes en este tipo de cuencas los fenómenos de carcavamiento, inundación y solifluxión, en orden descendente (71% a 53% aprox. de los casos en mención). Siguen en frecuencia deslizamientos, movimientos en masa no diferenciados y socavamiento (47% a 48% aprox. de este tipo de fenómenos); las avenidas y avalanchas son escasas en cuencas de este orden (12.5% y 33.3% del total de eventos respectivamente).

Se puede clasificar la frecuencia de los movimientos, únicamente para cuencas de orden 3, tal como se señala en la Tabla 10.

Tabla 10: Frecuencia de amenazas en cuencas de drenaje superficial de orden 3.

ALTA FRECUENCIA	MEDIANA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
- Carcavamiento	- Deslizamientos	- Avenidas
- Inundaciones	- MM no diferenciales	- Avalanchas
- Solifluxión	- Socavamiento	