

ACTUALIZACIÓN POMCA

RÍO ABURRÁ

Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica



2.7. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



TABLA DE CONTENIDO

2.7. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO	1799
2.7.1. Introducción	1799
2.7.2. Objetivos	1800
2.7.3. Alcances y limitaciones	1801
2.7.4. Definiciones Básicas	1803
2.7.5. Resumen ejecutivo de la condición de amenaza y riesgo	1810
2.7.6. Caracterización histórica y eventos amenazantes	1812
2.7.6.1. Eventos históricos espacializados por movimientos en masa	1819
2.7.6.2. Eventos históricos por inundaciones	1824
2.7.6.3. Eventos históricos por avenidas torrenciales	1826
2.7.6.4. Eventos históricos por incendios de la cobertura vegetal	1828
2.7.7. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa	1830
2.7.7.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a movimientos en masa ..	1831
2.7.7.2. Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa	1832
2.7.7.2.1. Selección de la muestra de análisis (MM_LM_MOVT)	1832
2.7.7.2.2. Factores condicionantes	1835
2.7.7.2.3. Variables con relación de proximidad (VRP)	1852
2.7.7.2.4. Variables categóricas	1863
2.7.7.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa	1874
2.7.7.3.1. Análisis estadístico de la función discriminante para obtener susceptibilidad a movimientos en masa	1874
2.7.7.3.2. Análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa	1884
2.7.7.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa	1886
2.7.7.5. Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa	1895
2.7.7.5.1. Precipitación	1895
2.7.7.5.2. Aceleración sísmica	1897
2.7.7.5.3. Modelo geológico geotécnico	1899
2.7.7.6. Análisis de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa	1903
2.7.8. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por inundaciones	1906
2.7.8.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a inundaciones	1907
2.7.8.2. Descripción de variables de susceptibilidad a inundaciones	1907

2.7.8.2.1. Localización de inundaciones (LIN)	1908
2.7.8.2.2. Factores Condicionantes.....	1908
2.7.8.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones	1910
2.7.8.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por inundaciones	1913
2.7.8.5. Descripción de las variables para obtener amenaza por inundaciones	1914
2.7.8.5.1. Inundaciones históricas (INUNHIST).....	1914
2.7.8.5.2. Zonas de susceptibilidad a inundaciones.....	1915
2.7.8.6. Análisis de la zonificación de la amenaza por inundaciones.....	1915
2.7.9. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales	1918
2.7.9.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales...	1919
2.7.9.2. Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales	1922
2.7.9.2.1. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)	1922
2.7.9.2.2. Índice de Melton (IM).....	1928
2.7.9.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales	1930
2.7.9.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales	1931
2.7.9.5. Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales	1932
2.7.10. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por incendios forestales.....	1935
2.7.10.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad de las coberturas vegetales a incendios forestales	1936
2.7.10.2. Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a incendios forestales	1936
2.7.10.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales.....	1946
2.7.10.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por incendios forestales	1948
2.7.10.5. Descripción de las variables de amenaza por incendios forestales	1949
2.7.10.6. Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales	1958
2.7.11. Análisis de las condiciones de vulnerabilidad	1960
2.7.11.1. Exposición.....	1962
2.7.11.1.1. Valor físico o costo de reposición (vu).....	1962
2.7.11.1.2. Valor humano u ocupación uso (OU)	1964
2.7.11.2. Fragilidad	1967
2.7.11.2.1. Fragilidad socioeconómica (FS).....	1968
2.7.11.2.2. Fragilidad Ecosistémica.....	1972
2.7.11.3. Falta de resiliencia	1976

2.7.11.3.1. Planeación (PR)	1980
2.7.11.3.2. Operaciones (O).....	1981
2.7.11.3.3. Recuperación (Rec)	1984
2.7.12. Análisis de las condiciones de riesgos.....	1990
2.7.13. Análisis de elementos expuestos.....	1996
2.7.14. Recomendación e identificación de necesidades de información e investigación	1998
2.7.14.1. Amenaza por movimientos en masa	2002
2.7.14.2. Amenaza por inundaciones.....	2002
2.7.14.3. Amenaza por avenidas torrenciales	2003
2.7.14.4. Amenaza por incendios de cobertura vegetal	2004
2.7.14.5. Generales de amenaza, vulnerabilidad y riesgo	2004

LISTA DE TABLAS

TABLA 563. EVENTOS REPRESENTATIVOS EN EL VALLE DE ABURRÁ	1813
TABLA 564. EVENTOS HISTÓRICOS POR AMENAZAS	1817
TABLA 565. AFECTACIONES DE EVENTOS DE EMERGENCIA	1819
TABLA 566. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE CURVATURA DEL TERRENO.....	1841
TABLA 567. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PERFIL.....	1843
TABLA 568. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PLANO HORIZONTAL	1845
TABLA 569. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE LA LADERA	1848
TABLA 570. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A CUERPOS DE AGUA.....	1854
TABLA 571. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A VÍAS	1857
TABLA 572. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A FALLAS Y LINEAMIENTOS.....	1858
TABLA 573. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A CANTERAS	1862
TABLA 574. CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA .	1864
TABLA 575. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA.....	1867
TABLA 576. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE COBERTURA A MOVIMIENTOS EN MASA	1869
TABLA 577. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL A MOVIMIENTOS EN MASA.....	1872
TABLA 578. PRUEBA 1 KOLMOGOROV – SMINORV	1878
TABLA 579. PRUEBA 2 KOLMOGOROV – SMINORV	1878
TABLA 580. MATRIZ DE CORRELACIÓN.....	1879
TABLA 581. PRUEBA ANOVA	1880
TABLA 582. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE FACTOR DE SEGURIDAD.....	1890
TABLA 583. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN 3 CLASES	1894
TABLA 584. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN 3 CLASES	1894
TABLA 585. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EVALUADOS PARA CADA UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	1899
TABLA 586. CATEGORIZACIÓN DE LA RECURRENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN	1914

TABLA 587. RELACIONES PARA CATEGORÍAS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS.....	1920
TABLA 588. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTOS TORRENCIALES IVET	1921
TABLA 589. CATEGORIZACIÓN DE LA RECURRENCIA DE LOS EVENTOS DE AVENIDAS TORRENCIALES.....	1929
TABLA 590. CALIFICACIÓN DE TIPO DE COMBUSTIBLE PARA LA COBERTURA VEGETAL .	1938
TABLA 591. DURACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA LA COBERTURA VEGETAL	1941
TABLA 592. CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE PARA LA COBERTURA VEGETAL	1944
TABLA 593. INDICADOR PRECIPITACIÓN.....	1951
TABLA 594. INDICADOR TEMPERATURA.....	1952
TABLA 595. INDICADOR TASA DE DISPERSIÓN.	1953
TABLA 596. INDICADOR DISTANCIA A VÍAS.	1955
TABLA 597. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DEL FACTOR HISTÓRICO EN FUNCIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES	1957
TABLA 598. MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES PARA VARIABLES DE EXPOSICIÓN.	1966
TABLA 599. PESOS ASIGNADOS PARA VARIABLES DE EXPOSICIÓN (VECTOR DE VALORES PROPIOS)	1966
TABLA 600. VALORES ÍNDICES DE NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS POR MUNICIPIO	1969
TABLA 601. VALORES ÍNDICES DE CONDICIONES DE VIDA POR MUNICIPIO	1971
TABLA 602. CATEGORÍAS DE FRAGILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS	1973
TABLA 603. NORMALIZACIÓN DE CATEGORÍAS ECOSISTÉMICAS EN FUNCIÓN AL ÍNDICE DE FRAGILIDAD	1973
TABLA 604. MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES PARA VARIABLES DE FRAGILIDAD..	1974
TABLA 605. PESOS ASIGNADOS PARA VARIABLES DE FRAGILIDAD (VECTOR DE VALORES PROPIOS)	1974
TABLA 606. FICHA DE REVISIÓN DE INSTRUMENTO DE GESTIÓN DE RIESGOS LOCAL PARA EL CÁLCULO DE LA RESILIENCIA	1977
TABLA 607. CALIFICACIÓN DE LA CATEGORÍA PARA CADA RESPUESTA REALIZADA	1979
TABLA 608. PROMEDIO DE ANÁLISIS REALIZADOS	1980
TABLA 609. CALIFICACIÓN DE LA CATEGORÍA.	1981
TABLA 610. NIVEL DE EFECTIVIDAD DE RESILIENCIA.....	1981
TABLA 611. CATEGORÍA CALIFICACIÓN OPERACIONES	1981
TABLA 612. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA EN DISPONIBILIDAD DE UN CENTRO DE SALUD CERCANO	1982

TABLA 613. ESTANDARIZACIÓN CALIFICACIÓN POR MUNICIPIOS DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA SEGÚN CENTROS DE SALUD	1982
TABLA 614. EVALUACIÓN PERSONAL DE BÚSQUEDA Y RESCATE PÚBLICO	1983
TABLA 615. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA EN DISPONIBILIDAD DE UNA INSTITUCIÓN DE RESCATE	1984
TABLA 616. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA DEL APOORTE AL IPC DE CADA MUNICIPIO AL DEPARTAMENTO	1984
TABLA 617. CALIFICACIÓN NIVEL EDUCATIVO	1985
TABLA 618. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA DEL NIVEL EDUCATIVO DE CADA MUNICIPIO AL DEPARTAMENTO	1985
TABLA 619. MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES PARA VARIABLES DE FALTA DE RESILIENCIA.....	1986
TABLA 620. PESOS ASIGNADOS PARA VARIABLES DE FALTA DE RESILIENCIA	1987
TABLA 621. MATRIZ PROPUESTA PARA LA CATEGORIZACIÓN DE NIVELES DE RIESGO ..	1991
TABLA 622. NÚMERO DE ELEMENTOS EXPUESTOS	1996

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 384. EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA RECOPIADOS E IDENTIFICADOS ...	1821
FIGURA 385. DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA POR TIPO DE FUENTE	1822
FIGURA 386. RECURRENCIA DE EVENTOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	1823
FIGURA 387. EVENTOS DE INUNDACIÓN RECOPIADOS E IDENTIFICADOS	1824
FIGURA 388. RECURRENCIA DE EVENTOS DE INUNDACIONES RECOPIADOS E IDENTIFICADOS	1825
FIGURA 389. DISTRIBUCIÓN DE LA RECURRENCIA DE INUNDACIONES	1826
FIGURA 390. EVENTOS TORRENCIALES RECOPIADOS E IDENTIFICADOS	1827
FIGURA 391. RECURRENCIA DE EVENTOS DE AVENIDAS TORRENCIALES RECOPIADOS E IDENTIFICADOS	1828
FIGURA 392. INCENDIOS Y ÁREA AFECTADA REPORTADA, AÑO 2002.....	1829
FIGURA 393. INCENDIOS Y ÁREA AFECTADA REPORTADA, AÑO 2007.....	1830
FIGURA 394. METODOLOGÍA PARA OBTENER SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	1832
FIGURA 395. SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE EVENTOS ESTABLES INESTABLES.....	1834
FIGURA 396. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)	1836
FIGURA 397. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA LADERA EN FUNCIÓN A LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	1837
FIGURA 398. PENDIENTE DE LA LADERA	1838
FIGURA 399. PENDIENTE SENOIDAL DE LADERA.....	1839
FIGURA 400. RUGOSIDAD.....	1841
FIGURA 401. CURVATURA DEL TERRENO.....	1842
FIGURA 402. CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PERFIL	1843
FIGURA 403. CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PLANO HORIZONTAL.....	1844
FIGURA 404. INSOLACIÓN	1846
FIGURA 405. ORIENTACIÓN DE LA LADERA.....	1847
FIGURA 406. ACUMULACIÓN DE LA CUENCA.....	1849
FIGURA 407. LONGITUD DE CUENCA ACUMULADA.....	1850
FIGURA 408. VARIABLES CON RELACIÓN DE PROXIMIDAD EN FUNCIÓN A LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	1853
FIGURA 409. RELACIÓN DE PROXIMIDAD DE LA DISTANCIA A DRENAJES.....	1855
FIGURA 410. RELACIÓN DE PROXIMIDAD DE LA DISTANCIA A VÍAS.....	1856

FIGURA 411. DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO.....	1859
FIGURA 412. DISTANCIA A FALLAS Y LINEAMIENTOS.....	1860
FIGURA 413. RELACIÓN DE PROXIMIDAD DE LA DISTANCIA A CANTERAS EN FUNCIÓN A LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	1861
FIGURA 414. VARIABLES CATEGÓRICAS CONDICIONANTES DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	1863
FIGURA 415. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA..	1866
FIGURA 416. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA.....	1868
FIGURA 417. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE COBERTURA	1871
FIGURA 418. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	1873
FIGURA 419. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE	1875
FIGURA 420. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	1885
FIGURA 421. ESTRUCTURA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	1886
FIGURA 422. ESQUEMA DEL MODELO DE TALUD INFINITO	1889
FIGURA 423. RETENCIÓN POTENCIAL	1896
FIGURA 424. ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA PRECIPITACIÓN MEDIA.....	1897
FIGURA 425. COEFICIENTE DE ACELERACIÓN SÍSMICA	1898
FIGURA 426. MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	1900
FIGURA 427. COHESIÓN	1901
FIGURA 428. ÁNGULO DE FRICCIÓN	1902
FIGURA 429. PESO UNITARIO	1903
FIGURA 430. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	1904
FIGURA 431. VARIABLES QUE DETERMINAN A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA AMENAZA POR INUNDACIONES	1908
FIGURA 432. SUSCEPTIBILIDAD DE SUBUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS A INUNDACIONES	1909
FIGURA 433. SUSCEPTIBILIDAD DE UNIDADES DEL TERRENO A INUNDACIONES	1911
FIGURA 434. SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES.....	1912
FIGURA 435. VARIABLES PARA LA MODELACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES.	1914
FIGURA 436. MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIONES	1916
FIGURA 437. MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIONES VALIDADO	1917

FIGURA 438. MICROCUENCAS DEFINIDAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ	1918
FIGURA 439. RELACIONES ENTRE VARIABLES PARA EL ÍNDICE MORFOMÉTRICO.....	1921
FIGURA 440. VARIABLES QUE DETERMINAN A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	1922
FIGURA 441. ÍNDICES IMPLÍCITOS EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES	1923
FIGURA 442. ÍNDICE DE VARIABILIDAD DE CAUDAL EN MICROCUENCAS	1924
FIGURA 443. PARÁMETROS CONSIDERADOS EN EL ÍNDICE MORFOMÉTRICO	1925
FIGURA 444. ÍNDICE MORFOMÉTRICO.....	1926
FIGURA 445. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES (IVET)	1927
FIGURA 446. MAPA DEL ÍNDICE DE MELTON	1928
FIGURA 447. ZONAS DE SUSCEPTIBILIDAD POR AVENIDAS TORRENCIALES EN FUNCIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE EVENTOS	1930
FIGURA 448. SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES	1931
FIGURA 449. AMENAZA A EVENTOS TORRENCIALES EN FUNCIÓN DE EXISTENCIA Y TEMPORALIDAD DE EVENTOS HISTÓRICOS	1933
FIGURA 450. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CALIFICADAS EN CADA CUERPO DE AGUA.....	1934
FIGURA 451. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	1935
FIGURA 452. VARIABLES QUE DETERMINAN A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA COBERTURA VEGETAL A SUFRIR INCENDIOS FORESTALES.....	1937
FIGURA 453. CALIFICACIÓN TIPO DE COMBUSTIBLE DE COBERTURAS VEGETALES.....	1940
FIGURA 454. DURACIÓN DE COMBUSTIBLE DE COBERTURAS VEGETALES.....	1943
FIGURA 455. CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE DE COBERTURAS VEGETALES.....	1946
FIGURA 456. SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	1947
FIGURA 457. VARIABLES PARA LA MODELACIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES	1949
FIGURA 458. CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA (PRECIPITACIÓN) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1950
FIGURA 459. CALIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1950
FIGURA 460. CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA (TEMPERATURA) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1951

FIGURA 461. CALIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1952
FIGURA 462. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS (PENDIENTE) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1953
FIGURA 463. CALIFICACIÓN DE LA PENDIENTE (RELIEVE) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1954
FIGURA 464. CARACTERÍSTICAS DE PROXIMIDAD (ACCES) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1955
FIGURA 465. CARACTERÍSTICAS DE PROXIMIDAD (ACCES) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1956
FIGURA 466. FACTOR HISTÓRICO EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1957
FIGURA 467. CALIFICACIÓN DEL FACTOR HISTÓRICO EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1958
FIGURA 468. AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES	1959
FIGURA 469. VARIABLES QUE INCLUYEN LA EXPOSICIÓN DE FUNCIÓN A LA VULNERABILIDAD	1962
FIGURA 470. VALORES POR HECTÁREA DEL USO DEL SUELO DISCRIMINADO PARA VEREDAS.....	1964
FIGURA 471. VALORES DE OCUPACIÓN POR HECTÁREA DISCRIMINADO POR VEREDAS DENTRO DE LA CUENCA	1965
FIGURA 472. VALORES ÍNDICE DE EXPOSICIÓN	1967
FIGURA 473. VARIABLE QUE INCLUYEN LA FRAGILIDAD DE FUNCIÓN A LA VULNERABILIDAD	1968
FIGURA 474. ÍNDICE DE NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS	1970
FIGURA 475. ÍNDICE DE CONDICIONES DE VIDA.....	1972
FIGURA 476. ÍNDICE DE FRAGILIDAD	1975
FIGURA 477. VARIABLE QUE INCLUYEN LA FALTA DE RESILIENCIA.....	1976
FIGURA 478. FALTA DE RESILIENCIA	1988
FIGURA 479. VULNERABILIDAD TOTAL – INDICE DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL	1989
FIGURA 480. RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA	1992
FIGURA 481. RIESGO POR INUNDACIONES	1993
FIGURA 482. RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES	1994
FIGURA 483. RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	1995
FIGURA 484. ELEMENTOS EXPUESTOS EN ZONAS DE AMENAZA ALTA	1997

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 207. DESLIZAMIENTO EN EL BARRIO VILLATINA OCURRIDO EN 1987.....	1813
FOTOGRAFÍA 208. DESLIZAMIENTO EN EL BARRIO EL POBLADO OCURRIDO EN 2008.....	1814
FOTOGRAFÍA 209. DESLIZAMIENTO EN TALUD MINERO EN COPACABANA OCURRIDO EN 2016.....	1815
FOTOGRAFÍA 210. DESLIZAMIENTO EN EL BARRIO LA GABRIELA DEL MUNICIPIO DE BELLO OCURRIDO EN 2010	1816

2.7. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RIESGO

2.7.1. Introducción

El presente análisis técnico corresponde a la fase de diagnóstico del proyecto de elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá, incluida dentro del plan de incorporación del componente de gestión del riesgo como determinante ambiental del ordenamiento territorial en los procesos de formulación y actualización de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, afectadas por el fenómeno de la niña 2010-2011, en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Antioquia (CORANTIOQUIA), el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y la Corporación Autónoma Regional de los ríos Negro y Nare (CORNARE). Lo presentado a continuación se centra en la identificación y evaluación de las amenazas junto con los factores de vulnerabilidad, con el propósito de caracterizar las condiciones de riesgo holístico por cada una de las amenazas presentes.

En la medida que cada territorio desarrolle sus instrumentos de ordenamiento con un buen componente de gestión del riesgo, estos podrán conocer mejor sus dinámicas y determinar zonas con mayor susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo a los diversos eventos amenazantes. Esto permite formar a los habitantes, asignar recurso financiero y personal para prevenir, mitigar, alertar, responder, rehabilitar y recuperarse ante cualquier evento catastrófico en el marco de la legislación actual, si se considera la importancia de la prevención del riesgo en la planeación territorial.

El desarrollo de las metodologías de la gestión del riesgo para el manejo de las cuencas hidrográficas cuenta con un marco normativo que se fue desarrollando desde la Ley 99 de 1993 que incluye, dentro de las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), la integración de la gestión del riesgo dentro de los procesos de ordenamiento y cuencas. Por otra parte, la Ley 1523 de 2012 designa responsabilidades, principios, definiciones y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), en el específico de cuencas hidrográficas se encuentra el Decreto 1640 de 2012 por el cual “reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos...” y se incluye el componente de gestión del riesgo en la fase de formulación de los respectivos planes de ordenación.

Este documento contiene la fase de diagnóstico de acuerdo con el anexo técnico del POMCA de la cuenca hidrográfica del río Aburrá, estructurado de la siguiente forma: inicialmente se puntualiza el alcance y se determinan las definiciones básicas sobre las que se orienta el desarrollo de la metodología; después se hace una caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes (donde se describe la metodología, se definen las variables a considerar de manera independiente para cada uno de los eventos y posteriormente se realiza un análisis de la zonificación por susceptibilidad y amenaza de acuerdo con las características de la zona evaluada) y finalmente, se hace un análisis de las condiciones de vulnerabilidad relacionadas con fragilidad socioeconómica, falta de resiliencia y capacidad de respuesta dentro del análisis de riesgo. Lo anterior se realiza con el fin de establecer la inclusión de cada una de las temáticas en el modelo general, para determinar la zonificación de las condiciones y escenarios de riesgo, realizando finalmente las recomendaciones e identificación de necesidades de información e investigación.

2.7.2. Objetivos

- Desarrollar procesos de conocimiento que aporten a la reducción y recuperación en zonas de riesgo sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, que pueden ser afectados por la ocurrencia de eventos peligrosos de origen natural.
- Generar herramientas que permitan coordinar y articular entidades públicas y privadas del SNGRD, desde los aspectos ambientales para realizar acciones tendientes a la protección de la población, sus bienes y sus actividades ante la probabilidad de ocurrencia de eventos de origen natural.
- Identificar, caracterizar y especializar fenómenos que puedan convertirse en una amenaza para mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico del suelo, agua, flora y fauna y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca, particularmente del recurso hídrico.
- Categorizar las zonas de amenazas y/o susceptibilidad de baja, media y alta, en atención a la necesidad de identificar las áreas que requieren intervención correctiva del riesgo existente, en los escenarios de riesgos priorizados y las áreas que requieren intervención prospectiva para anticiparse a nuevas configuraciones de riesgo.

- Analizar la relación de los fenómenos amenazantes con los efectos de la variabilidad climática por eventos extremos.
- Priorizar acciones dirigidas al conocimiento, la reducción del riesgo y la recuperación ambiental de los territorios afectados por la manifestación de los fenómenos amenazantes.

2.7.3. Alcances y limitaciones

- La evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos se realiza en el marco de lo establecido en el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Fondo de Adaptación publicado en el año 2014 y es una actualización al POMCA realizado en 2007, que en el componente de riesgos tuvo alcance conceptual y no la elaboración de modelos cualitativos o cuantitativos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- La estimación de susceptibilidad a movimientos en masa surge de la evaluación de factores de propensividad como geología, geomorfología, cobertura de suelo, pendiente, insolación, rugosidad, curvatura, presencia de quebradas, vías, fallas geológicas, entre otros, dentro de un análisis multivariante discriminante para la asignación de coeficientes o pesos dentro de una función discriminante, ajustada por una variable agrupación definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003) y Cardona (2013).
- El cálculo de amenaza por movimientos en masa se acota a la estimación de posibilidad de deslizamiento traslacional superficial, mediante métodos determinísticos en función del comportamiento geomecánico de resistencia, al corte de suelos en varios escenarios que combinan condiciones de lluvia y sismo.
- El cálculo de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales desarrolla el método sugerido por el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA y considera, adicionalmente, la condición de amenaza probabilística por movimientos en

masa como aportante de materiales sólidos de arrastre para definir la categoría de amenaza en combinación con la caracterización morfométrica.

- La zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales se ejecuta con la metodología del IDEAM, sugerida por el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA, pero se ve limitada en la aplicación del denominado factor histórico al no contar con un insumo suficiente en términos de localización espacial y temporal de eventos, por lo cual se incorporó en escala de municipio.
- La zonificación de susceptibilidad y amenaza de inundación considera los fenómenos de inundaciones lentas evaluadas a partir de criterios geomorfológicos y recurrencia de eventos históricos e inundaciones rápidas por recurrencia de eventos en las quebradas. El fenómeno que se analiza es inundación por desbordamiento de cauces y no por encharcamiento o sobrepaso de la capacidad hidráulica de la red de drenaje urbana, por ello, las quebradas que han sido canalizadas en los cascos urbanos se consideran como red de drenaje pluvial urbana y deben aplicar para un análisis de mayor detalle en integralidad con la consolidación urbana. No se emplea información de mayor detalle por no tener cobertura espacial suficiente a lo largo de todo el cauce, que permita realizar modelación hidrológica e hidráulica del cauce principal del río Aburrá, sin embargo, se considera entre las fuentes de información secundaria el plan de ordenamiento territorial de Medellín.
- La estimación de vulnerabilidad y riesgo logra valorar las condiciones de fragilidad social y económica de la población, fragilidad ecosistémica, capacidad de respuesta institucional y falta de resiliencia. La información disponible es cartografiable a escalas de municipios y veredas, no se cuenta con información detallada de valor de la tierra en la escala de cobertura del suelo para estimar con certidumbre costos de reposición, de manera que, preferiblemente, no se estimaron pérdidas económicas ni afectaciones posibles.
- La información secundaria existente en estudios antecedentes relacionadas con condiciones de fragilidad socioeconómica y física permiten un análisis de vulnerabilidad y exposición a una mejor escala en algunos sectores de la cuenca, principalmente urbanos como las cabeceras municipales del Área Metropolitana de Medellín, más no para sus

sectores rurales. Por tanto, el análisis integral de vulnerabilidad y riesgo parte de la información que existe en su totalidad a escala municipal y tiene cobertura en toda la extensión de la cuenca hidrográfica del río Aburrá, a fin de evitar la exclusión de ciertos análisis en algunas zonas que no cuentan con información de mayor detalle en las mismas.

- La referenciación de eventos históricos permite reconocer la recurrencia y afectaciones de los diferentes eventos amenazantes, pero no logra con mucho detalle ser un insumo para análisis espaciales y su incorporación con el rigor necesario en los modelos de cálculo de amenazas, toda vez que su referencia espacial es en su mayoría a escalas municipales. No obstante, es información útil para fortalecer el contexto de cada una de los fenómenos amenazantes identificados en la cuenca.

2.7.4. Definiciones Básicas

El análisis y evaluación del riesgo es la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que las mismas puedan ocurrir. Según la Ley 1523 de 2012 en su artículo 4, numeral 4, se define análisis y evaluación del riesgo como: “el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación”. A continuación se conceptualizan términos involucrados dentro de la gestión del riesgo, siguiendo la terminología sobre gestión de riesgo de desastres y fenómenos amenazantes del comité nacional para el conocimiento del riesgo del SNGRD:

- Adaptación:** comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos, con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos, la adaptación al cambio climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia, en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.
- Amenaza:** peligro latente de que un evento físico de origen natural, causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños y pérdidas

en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

- c) **Análisis discriminante:** técnica estadística que permite identificar las características que diferencian (discriminan) a dos o más grupos y, de esta manera, crear una función capaz de distinguir con la mayor precisión posible a los miembros de uno u otro grupo.
- d) **Avenida torrencial:** creciente súbita que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca está compuesta por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad. Son uno de los tipos más comunes de amenazas y son extremadamente peligrosas, debido a su naturaleza rápida. Sus características son: corta duración, pequeña extensión de área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, en áreas de altas pendientes en las cuencas y cobertura vegetal pobre y se ven afectadas de manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas. Se pueden subdividir de acuerdo con el material de arrastre de la corriente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).
- e) **Evento:** cualquier acontecimiento que probablemente pueda ocurrir en una posición y momento determinados, que lo definen como un punto en el espacio-tiempo y que representa a la fuente en términos de las respectivas características, dimensiones y localización geográfica (Portilla M. , 2001).
- f) **Exposición (elementos expuestos):** se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.
- g) **Factores condicionantes:** cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o situación previa que predispone o prepara las condiciones de la fuente ante la materialización de un evento. La caracterización de estos factores, así como la identificación de sus interacciones, permite la incorporación en la zonificación de la susceptibilidad y de esta manera en la evaluación de la respectiva amenaza para un área determinada (Glade & Crozier, 2005).

- h) **Factores detonantes:** también llamados desencadenantes y corresponden a cualquier acontecimiento, circunstancia, suceso o caso posible que genere una perturbación de la fuente y conlleve a la materialización de un evento (Portilla M. , 2012).
- i) **Fuente:** lugar o sitio donde se puede generar un evento.
- j) **Gestión del riesgo:** de acuerdo al artículo 4, numeral 11 de la Ley 1523 de 2012, “es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”.
- k) **Inundaciones:** las inundaciones son fenómenos hidrológicos resultado de la dinámica de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas, ocasionando un aumento progresivo del nivel de las aguas que sobrepasa la capacidad de retención del suelo y supera la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.

Inundaciones lentas: son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reportando afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses (Modificado de (IDEAM, 2016)).

Inundaciones rápidas: son las que ocurren en las zonas confinadas de los cuerpos de agua tras la ocurrencia de crecientes súbitas de caudal, generándose desbordamiento de los cauces, el cual ocurre y desaparece rápidamente.

- l) **Inventario:** es una base de datos que contiene información de los eventos históricos en un área determinada, básicamente corresponde a registros identificados combinados con información de su descripción como resultado de la ocurrencia de un evento, se utiliza como insumo de información básica para el análisis de la susceptibilidad junto con los factores

condicionantes y extrínsecos o detonantes de los eventos amenazantes identificados. Dentro de las limitaciones que presenta la elaboración de un inventario, se encuentra el determinar si este es confiable, suficiente y completo (Turcotte & Malamud, 2000; (Guzzetti, Reichenbach, Cardinali, & Galli, 2005)), ya que se encuentra sujeto a la calidad y cantidad de información que se recopile y se interprete durante el proceso de elaboración del mismo. En consecuencia, un inventario incompleto o poco confiable puede dar como resultado una evaluación errónea de la susceptibilidad, la amenaza o el riesgo.

- m) **Movimiento en masa:** equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. La terminología y clasificación de movimientos en masa para este documento es conforme a la Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA: GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Ávila et al, 2015).

Caídas: la caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (PMA, 2007). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo (PMA, 2007).

Vuelcos: se denomina así a un tipo de movimiento en masa, en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

Deslizamientos: son un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una o más superficies de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (modificado de PMA, 2007). Los deslizamientos pueden ser rotacionales, traslacionales (planares o en cuña) o compuestos según la forma del movimiento y la cantidad de superficies de falla.

Propagaciones laterales: la propagación de un suelo cohesivo o masa de roca combinado con un hundimiento general de la masa de material fracturado sobre un material subyacente cohesivo más blando (Cruden & Varnes, 1996). La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material (PMA, 2007).

Flujos: es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco (PMA, 2007). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Los flujos son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan, la distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares (Corominas, 2007). Según el tipo de material involucrado, contenido de humedad, velocidad de movimiento y otros factores, se pueden clasificar en flujos de roca, flujos de suelo, flujos secos, flujos de detritos, flujos de lodos, flujos de tierra, crecientes de detritos, avalanchas de detritos, avalanchas de rocas, reptamiento, soliflucción, entre otros.

- n) **Susceptibilidad:** es el grado de predisposición que tiene una fuente a que en él se genere un evento (Escobar, 2007). La susceptibilidad en los estudios de análisis y evaluación de amenazas, constituye la base inicial y el primer paso para el análisis y zonificación de amenazas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).
- o) **Incendios forestales:** fenómeno que se presenta cuando el fuego consume de forma incontrolada la cobertura vegetal (siendo esta el material combustible dentro del proceso de propagación y duración del fuego), cuya quema no estaba prevista (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).
- p) **Intervención correctiva:** proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las

condiciones de amenaza, cuando sea posible y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

- q) **Intervención prospectiva:** proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevos riesgos y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.
- r) **Mitigación del riesgo:** medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada, cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible y la vulnerabilidad existente (Ley 1523 de 2012).
- s) **Ordenamiento territorial:** el ordenamiento del territorio municipal y distrital comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios o distritos y áreas metropolitanas, en ejercicio de la función pública que les compete, dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, en orden a disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo su jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio, de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Ley 388 de 1997).
- t) **Paleoinundaciones:** método que identifica zonas de amenaza por inundaciones mediante la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados, durante o tras un evento de inundación las cuales no disponen de información histórica registrada o datada. Con ello se pueden delimitar áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, por tanto, son susceptibles a ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, frecuencia cualitativa de inundación e incluso inferir

ordenes de magnitud de parámetros como la profundidad, velocidad de la corriente o carga solidada transportada.

- u) **Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica (POMCA):** instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico (Decreto 1640 de 2012, Art. 18).
- v) **Plan de gestión del riesgo de desastres:** es el instrumento que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo.
- w) **Proceso analítico jerárquico:** es el proceso que permite establecer la importancia que tiene cada uno de los factores tenidos en cuenta para la toma de una decisión, cuantificando esta jerarquía de una manera decreciente según la relevancia descrita. Por lo tanto, la definición de los factores es el punto de partida que permite una visión global de las relaciones entre los mismos con la situación a evaluar, indiferente a el tipo de caracterización que represente cada una, lo que permite integrar diferentes temáticas.
- x) **Reducción del riesgo:** es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entendiéndose: mitigación del riesgo y a evitar nuevos riesgos en el territorio, entendiéndose: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.
- y) **Resiliencia:** la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación, la restauración de sus estructuras y funciones básicas.

- z) **Riesgo de desastres:** corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socionatural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.
- aa) **Vulnerabilidad:** susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

2.7.5. Resumen ejecutivo de la condición de amenaza y riesgo

Las características físicas de la cuenca del río Aburrá llevan en muchos casos incorporadas condiciones de susceptibilidad ante amenazas de tipo natural, al tiempo que su territorio ha sido objeto de transformación de sus condiciones naturales que en muchos casos ha exacerbado condiciones capaces de desencadenar la ocurrencia de eventos de emergencia, calamidad o desastre. Elementos muy significativos del territorio son muy influyentes sobre sus condiciones; por ejemplo, solamente vale decir que no menos del 70% de la cuenca está constituida por relieve escarpado que influye en la generación de movimientos en masa y avenidas torrenciales en sectores hidrográficos de alta precipitación y tiempos cortos de concentración.

Si a lo anterior se agrega un acelerado proceso de expansión urbana que caracteriza la cuenca, donde la demanda de suelo para construcción formal e informal de viviendas, infraestructura, equipamientos es permanente y se ha transformado el paisaje de manera considerable, dejando expuestos o impermeabilizados los mismos, implicándola ocupación de laderas y la mayoría de las zonas de retiro de cursos de agua. En este aspecto, el manejo de las aguas se ha constituido en un elemento fundamental que detona situaciones que han afectado vidas y bienes públicos y privados.

En este capítulo se aborda lo correspondiente a la gestión de riesgos en la cuenca a partir del análisis de amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones e incendios de coberturas vegetales que por su recurrencia histórica y magnitud en términos de daños y

afectaciones, han sido referentes con consecuencias sobre la vida de la población, sus bienes y el patrimonio estatal. En el Valle de Aburrá se presentan todos estos tipos de fenómenos siendo los más recurrentes los movimientos en masa, seguido de las inundaciones y avenidas torrenciales y finalmente, de menor recurrencia, los incendios de coberturas vegetales.

Las condiciones de amenaza por movimientos están dominadas por las altas pendientes y la disposición de los materiales a fallar por corte, en temporadas de altas precipitaciones dominadas por los ciclos de variabilidad hidrológica (fenómeno de la Niña), llegando a generar falla de taludes con afectaciones importantes como las ocurridas en el deslizamiento en el barrio Villatina en 1987 o en el sector el Poblado en 2008, por citar algunos ejemplos. Según el IDEAM, el ciclo conocido como "el Niño" y su fase opuesta "la Niña" son la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual y sus efectos son notables en el norte de la región Pacífica, los departamentos de la región Andina y en los departamentos de la región Caribe, principalmente en las tres últimas décadas. Todos los municipios analizados presentan condición de amenaza por deslizamiento, siendo esta más marcada en los municipios de Barbosa, Caldas, Sabaneta, Envigado, la Estrella y occidente de Medellín.

En relación con fenómenos de inundación se encuentra relación histórica de eventos relacionados con desbordamiento e inundación rápida en algunas quebradas de los municipios de Itagüí, Bello y Girardota y evidencia geomorfológica de inundaciones lentas a lo largo del cauce principal del río Aburrá, siendo más representativa en la ciudad de Medellín y los municipios de Itagüí, Bello y Girardota nuevamente. No obstante, dada la naturaleza y las intervenciones de canalización que mejoran la capacidad hidráulica del río principalmente en la ciudad de Medellín se considera que la escala de análisis realizada para este estudio se ve limitada para considerar una zonificación de amenaza que no puede contemplar en su conjunto el detalle requerido para un análisis en el casco urbano del Área Metropolitana de Medellín.

Por otro lado, si se considera que un número importante de las quebradas tienen características de forma que favorecen las crecientes de caudales con comportamientos torrenciales en distancias cortas a raíz de eventos extremos de lluvias, que podrían incluso detonar movimientos en masa, se puede inferir que algunos cuerpos de agua del sur y occidente de la cuenca como la Iguaná, la Miel, la Picacha, entre otras, presentan amenaza por avenidas torrenciales con longitudes moderadas a cortas.

Las condiciones de cobertura vegetal en las áreas rurales imprimen susceptibilidad a incendios forestales, redundando en que solo las áreas urbanas mantienen calificación entre baja y muy baja (incluso nula) por incendios de coberturas vegetales y algunas áreas rurales de la ciudad de Medellín y de los municipios de Copacabana, Sabaneta y Barbosa logran una condición de amenaza muy alta.

En términos de vulnerabilidad, se estimó la fragilidad socioeconómica y ecosistémica, falta de resiliencia y exposición encontrando que las condiciones sociales y económicas son propicias y se enmarcan en una dinámica poblacional, orientada a la percepción del riesgo y capacidad de respuesta oportuna a eventos de emergencia, no obstante, concentrando los indicadores favorables solamente en la ciudad de Medellín. Así mismo, al revisar la existencia de elementos expuestos y bajo un concepto de riesgo implícito, se observan áreas extensas de infraestructura expuesta en la ciudad de Medellín y un número importante de elementos expuestos en los municipios, de manera que si se analiza con mayor detalle la fragilidad física de edificaciones y demás elementos, se puede llegar a zonificar riesgo con estimación de pérdidas y afectaciones específicas a la población.

2.7.6. Caracterización histórica y eventos amenazantes

En general, los eventos de mayor impacto acumulado se asocian a movimientos en masa tipo deslizamiento siendo algunos bastante representativos como el deslizamiento compuesto convertido en flujo no canalizado en el barrio Villatina en 1987, que afectó cerca de 70 viviendas, ocasionando la muerte de más de 500 personas y la generación de más de 2 mil damnificados (*Fotografía 207*); sin embargo, son también recurrentes y evidentes las afectaciones por otro tipo de amenazas como las inundaciones e incendios de coberturas vegetales. Al momento de integrar las bases de datos de eventos históricos, es importante verificar que dichos no estén duplicados o superpuestos, por ende, se realizan selecciones temporales y espaciales de los mismos para depurar esta información.

Existe una descripción de eventos acaecidos en la cuenca del río Aburrá, que se ha recopilado en “*Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá*”, realizado por Edier Aristizabal y Julieta Gómez del AMVA. El documento indica que mientras en la primera mitad del siglo anterior se presentaron 110 eventos, para la segunda parte del mismo se reportaron ya 5.457 eventos, un crecimiento que lamentablemente no solo se refleja en el número de eventos sino en una mayor magnitud en el número de víctimas y afectados. En los primeros siete años del presente siglo, ya se

reportaron 1.182 eventos, es decir, más del 20% de lo que pasó en cinco décadas anteriores. La Tabla 563 muestra eventos que han afectado el territorio de la cuenca en un poco más de 100 años.

FOTOGRAFÍA 207. DESLIZAMIENTO EN EL BARRIO VILLATINA OCURRIDO EN 1987



FUENTE: UNESCO (2010)

TABLA 563. EVENTOS REPRESENTATIVOS EN EL VALLE DE ABURRÁ

TIPO DE EVENTO	FECHA	MUNICIPIO	MUERTOS
Avenida Torrencial	Abril 1.880	Medellín – La Iguaná-	9
Flujo de lodos	Junio 1.927	Envigado- Rosellón	22
Avenida Torrencial	Septiembre 1.947	Medellín	15
Flujo de Lodo	Julio 1.954	Medellín- Santa Helena	>100
Avenida torrencial	Agosto 1.955	Barbosa- Qda. La López	17
Deslizamiento	Junio 1.973	Medellín- S. Antonio de Prado-	13
Flujo de lodos	Septiembre 1.974	Medellín – Santo Domingo-	>70
Movimiento en masa	Febrero 1.975	Medellín	18
Avenida Torrencial	Septiembre 1.979	Itagüí- Quebrada Doña María	11

TIPO DE EVENTO	FECHA	MUNICIPIO	MUERTOS
Flujo de escombros	Octubre 1.980	Medellín – San Antonio	>18
Deslizamiento	Noviembre 1.984	Itagüí – Santa María	10
Flujo de lodos	Noviembre 1.987	Medellín- Villatina	>500
Avenida Torrencial	Octubre 2.005	Bello – Qda. El Barro	38

FUENTE: INVENTARIO DE EMERGENCIAS Y DESASTRES EN EL VALLE DE ABURRÁ. AMVA. 2007

Recientemente, por citar otros casos, también se han presentado eventos de emergencia como el deslizamiento rotacional de gran extensión en la Urbanización Alto Verde del barrio el Poblado (*Fotografía 208*) que afectó 6 viviendas y generó más de 10 víctimas fatales, el deslizamiento en barrio la Gabriela en el municipio de Bello que sepultó a más de 140 personas (*Fotografía 209*) y el deslizamiento en un talud minero en el municipio de Copacabana, que dejó también víctimas fatales y obstrucción de la vía intermunicipal (*Fotografía 210*).

FOTOGRAFÍA 208. DESLIZAMIENTO EN EL BARRIO EL POBLADO OCURRIDO EN 2008



FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2008)

Es evidente que la cuenca se perturba por la ocurrencia de procesos naturales regulares o con un grado mayor de magnitud o permanencia, que se conviertan en detonantes de emergencias que afectan vidas, bienes públicos y privados, calidad de vida y posibilidades de desarrollo de las comunidades y equilibrio de los territorios.

Esto pone de manifiesto las incompatibilidades en el uso del territorio, el deterioro de los recursos naturales, la pérdida de la regulación de los ciclos naturales y las ineficiencias de los procesos de planificación que no han consolidado una forma de ocupar y apropiar el territorio, buscando un equilibrio entre la función social y ecológica de la propiedad.

FOTOGRAFÍA 209. DESLIZAMIENTO EN TALUD MINERO EN COPACABANA OCURRIDO EN 2016



FUENTE: CARACOL RADIO (2016)

FOTOGRAFÍA 210. DESLIZAMIENTO EN EL BARRIO LA GABRIELA DEL MUNICIPIO DE BELLO OCURRIDO EN 2010



FUENTE: UN PERIÓDICO (2010)

De la misma manera, las situaciones que se han documentado tanto en bases de datos como en otros medios de comunicación y de almacenamiento de información, muestran en muchos casos la insuficiencia en las acciones que pretenden revertir situaciones históricas que se repiten en territorios o efectos, indicando que la cuenca debe ser objeto del replanteo de sus intervenciones y de otro lado que la situación actual de ella, está mostrando que algunos procesos se llevaron de manera inadecuada o sin la suficiente planeación, por lo que hoy se suman a condiciones globales que ponen en situación de riesgo poblaciones y territorios y, con ello, el bienestar de toda una comunidad y en general el desarrollo sostenible.

Sin embargo, se debe destacar la existencia del Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA), en el territorio del Valle de Aburrá, que es junto con el Sistema de Alertas Tempranas de Bogotá, los proyectos de seguimiento y monitoreo más importantes del país, por la generación permanente de registros e información, los esquemas de transmisión de datos y la oportunidad de mayor efectividad de los organismos de respuesta. Ciertamente el SIATA, identificado como un proyecto de Ciencia y Tecnología, es el proyecto de mayor integralidad en tanto monitorea de manera integral diversos factores que pueden ser detonantes de situaciones de

emergencia. El Sistema registra en tiempo real precipitaciones, inundaciones, movimientos en masa y calidad del aire. Es vital para alertar sobre situaciones que pueden afectar la cotidianidad de la vida y actividades de la cuenca, así pues, se convierte en un instrumento básico de prevención y protección a la vida y a la salud, además coloca a cuenca en punta en el tema de monitoreo de riesgos.

En este aparte se busca contribuir con el análisis de riesgos del Plan de ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá, a través de la revisión de diferentes fuentes sobre la historia de las emergencias, calamidades y/o desastres que han golpeado duramente la vida, bienes y moral de los habitantes de la cuenca.

A continuación se resumen los resultados por tipo de evento y municipio, extraídos de la base de datos disponibles de Desinventar (Sistema de inventario de efectos de desastres) para el Valle de Aburrá, a la que se adiciona la información de DAPARD para incluir la totalidad de los municipios de la cuenca y la información contenida en el anterior POMCA, que esboza de manera descriptiva las condiciones de riesgo (*Tabla 564*). Vale indicar que en los municipios de Don Matías, San Vicente Ferrer, Guarne y Santo Domingo, el territorio dentro de la cuenca del río Aburrá no presenta antecedentes de eventos, de acuerdo a la información revisada de las bases antes mencionadas.

En la *Tabla 564* se muestra un resumen de los eventos registrados en la cuenca para cada una de las amenazas, en diferentes periodos desde inicios del siglo anterior a la actualidad. Estos fueron construidos con la información reportada por la base de datos de diferentes entidades abarcando los últimos diez (10) años y verificando que no se repitiera la información consultada.

TABLA 564. EVENTOS HISTÓRICOS POR AMENAZAS

AMENAZA	2002 A LA FECHA	1966 - 2001	MAYORES A 50 AÑOS	TOTAL
Avenidas torrenciales	49	61	30	140
Inundaciones	141	2.281	68	2.490
Incendios forestales	269	274	0	543
Movimientos en masa	198	1.983	39	2.126
Total eventos	657	4599	137	5299

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016, DESINVENTAR, AMVA, CORANTIOQUIA, SGC Y DAPARD

De los 5.299 eventos presentados a lo largo de un poco más de un siglo, el 47% corresponde a registros de inundaciones que se han reducido de manera exponencial en los últimos 15 años, mostrando los resultados de intervenciones en el manejo hidráulico de las corrientes. El 40% de los eventos registrados corresponde a movimientos en masa, valor que de igual manera se ha reducido en los últimos 15 años mostrando la efectividad de medidas de control, las mejoras en los procesos constructivos y el desarrollo normativo nacional a este respecto. El 10% de las situaciones de emergencia están relacionadas con la ocurrencia de incendios de coberturas, sin embargo, se debe mencionar que estos eventos son los más numerosos en los últimos 15 años, siendo prácticamente igual número al presentado en los 32 años anteriores. Finalmente, las avenidas torrenciales representan el 3% de las emergencias presentadas, lo cual puede relacionarse con el reporte de las mismas como eventos de inundación o la ocurrencia de las mismas sin afectaciones.

Los eventos de inundaciones en muchos casos hacen referencia a la recurrencia del desbordamiento de quebradas en los diferentes municipios, afectando comunidades e infraestructuras viales tanto en el suelo urbano como en el rural. Si bien se ha reducido la presencia de inundaciones en los últimos años, el 90% de estas afectan a los municipios de Medellín, Itagüí y Bello, denotando los problemas asociados a los niveles de urbanización de la cuenca y los inconvenientes ligados a las restricciones de manejo de las aguas lluvias, referidos a la ocupación de rondas, la imposibilidad de filtración de aguas por la impermeabilización de buena parte de la cuenca, la pérdida de cobertura vegetal, que contribuya a reducir los volúmenes y velocidades de la escorrentía, entre otros aspectos.

Espacialmente, los movimientos en masa siguen siendo muy representativos en la ciudad de Medellín y los municipios de Caldas y Girardota. Por su parte, se presentan los incendios forestales que afectan la cuenca y es nuevamente Medellín el territorio con el mayor número de situaciones registradas, seguido por Envigado, Copacabana, Bello y Sabaneta. Las avenidas torrenciales representan el 3% de los eventos registrados y es Medellín con el 71% el territorio con mayor recurrencia, seguido por Bello con el 14%.

Si se presenta la información de eventos con enfoque específico de afectaciones y pérdidas, la ocurrencia de las cuatro amenazas sobre el territorio de la cuenca se resume en la pérdida de 1.491 vidas, principalmente debido a movimientos en masa (83%), el 12,5% de las víctimas y el restante 4.5% de las vidas que se han perdido se deben a las inundaciones. De las 34 personas desaparecidas, el 47% se debe a eventos de avenidas torrenciales, el 53% restante es como consecuencia de movimientos en masa e inundaciones en proporciones iguales (*Tabla 565*).

TABLA 565. AFECTACIONES DE EVENTOS DE EMERGENCIA

AMENAZA	MUERTOS	DESAPARECIDOS	HERIDOS	AFECTADOS	REUBICADOS	VIVIENDAS AFECTADAS	EVACUADOS	DAMNIFICADOS	VIVIENDAS DESTRUIDAS
INCENDIOS	-	-	-	9	-	27	2	2	13
AVENIDAS TORENCIALES	187	16	10	9.323	19	1.279	92	16.867	2.376
MOVIMIENTOS EN MASA	1.236	9	36	8.005	90	4.326	4.202	8.944	920
INUNDACIONES	68	9	11	28.713	4	6.542	976	8.372	461
TOTAL	1.491	34	57	46.050	113	12.174	5.272	34.185	3.770

FUENTE: ACTUALIZACION POMCA 2016 CON BASE EN DESINVENTAR

El total de afectados por eventos asociados a incendios de coberturas, avenidas torrenciales, movimientos en masa e inundaciones es de 46.050 personas. El 62% ha sido como consecuencia de las inundaciones, el 20% por avenidas torrenciales, el 17% es consecuencia de movimientos en masa.

El número de damnificados por las emergencias es de 34.185, siendo la principal causa las avenidas torrenciales -49,3%-, el 26% de las personas damnificadas es como consecuencia de los movimientos en masa y el 25% por las inundaciones. Las emergencias han generado la destrucción de 3770 viviendas y la afectación de otras 12.174 (*Tabla 565*).

2.7.6.1. Eventos históricos espacializados por movimientos en masa

Como resultado de la recopilación realizada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico se identificaron 1055 eventos de movimientos en masa. Como se observa en la *Figura 384*, los eventos se encuentran principalmente en los municipios de Envigado, Barbosa, La Estrella e Itagüí y en la ciudad de Medellín.

Dentro de las diversas fuentes consultadas para generar el inventario de procesos (Anexos Diagnóstico / Anexo8 Caract FísicoBiótica / 2Geología Geomorfología / 3Listado

Procesos Morfodin), se encuentran la información histórica recolectada y suministrada por CORANTIOQUIA, eventos identificados en oficina durante el proceso de fotointerpretación, además de los procesos recopilados durante las diferentes misiones de campo y el inventario de procesos del estudio que realizó la Universidad Nacional de Colombia (UNAL, 2009).

Como se muestra en la *Figura 385*, la mayoría de la información corresponde a eventos recopilados de las actividades de campo e información secundaria. Durante actividades en los diversos espacios participativos del POMCA se identificaron eventos de movimientos en masa pero no de forma espacializada, por lo tanto, no se cuenta con datos de esta fuente dentro de la evaluación de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa.

Algunas de las bases de datos específicas reportan eventos por movimientos en masa urbanos que por su magnitud debieron ser descartados, porque su cantidad es desmesurada dentro de un análisis de susceptibilidad como el llevado a cabo en este estudio, si se compra con la ruralidad en las que dichas bases tienen pocos o ningún evento. Entonces, al analizar las bases de datos existentes se realiza un filtro y adaptación de las mismas con los siguientes criterios:

- Pendiente de la ladera: eventos georreferenciados en zonas de pendientes inferiores a 12 grados o cercanos a la verticalidad.
- Zonas urbanas, de expansión, centros poblados y afectación antrópica del terreno: eventos que por su naturaleza obedecen a factores antrópicos y no tienen una relación intrínseca con la geometría ni la escala del estudio, razón por la cual se recomienda realizar estudios detallados en estas zonas que tengan en cuenta las modificaciones morfométricas detalladas.
- Eventos que no cuentan con un referente espacial puntual.

FIGURA 385. DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA POR TIPO DE FUENTE

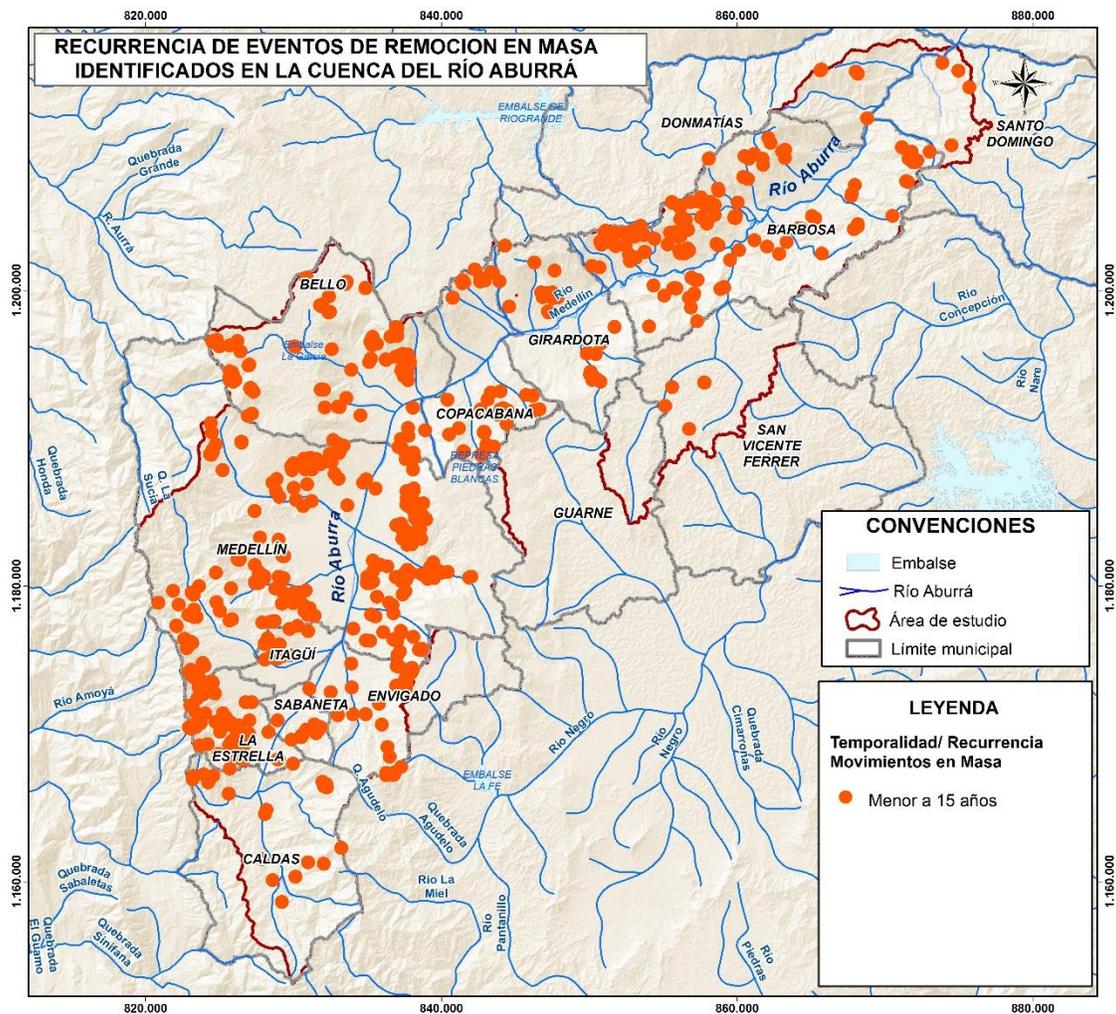


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Luego de realizar el proceso de depuración se obtiene una base de 732 eventos de movimientos en masa (*Figura 386*), la información recopilada coincide con un rango temporal alto, ya que dentro de las fuentes consultadas el reporte de los eventos no tiene una fecha inferior a 2010. Estos eventos se representan con colores rojos al tener una recurrencia inferior a 15 años.

Se observa que los eventos registrados principalmente son flujos, caídas de roca y deslizamientos traslacionales relacionados principalmente con lomos denudados en unidades ígneas y cuaternarias poco consolidadas con gran contenido de material terrígeno, tamaño arcilla (*Anexo8 Caract FísicoBiótica / 2Geología Geomorfología / 3Listado ProcesosMorfodin*).

FIGURA 386. RECURRENCIA DE EVENTOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

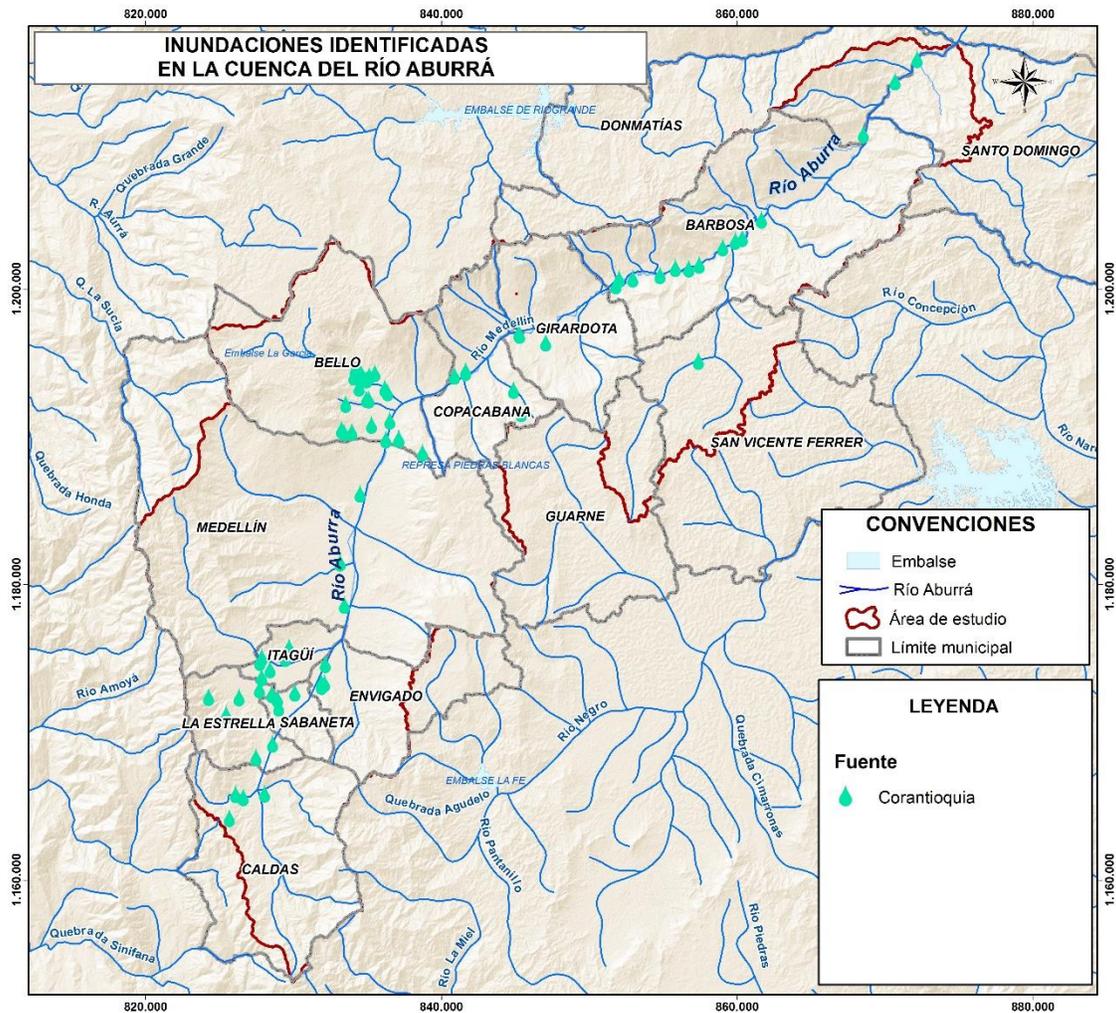


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.6.2. Eventos históricos por inundaciones

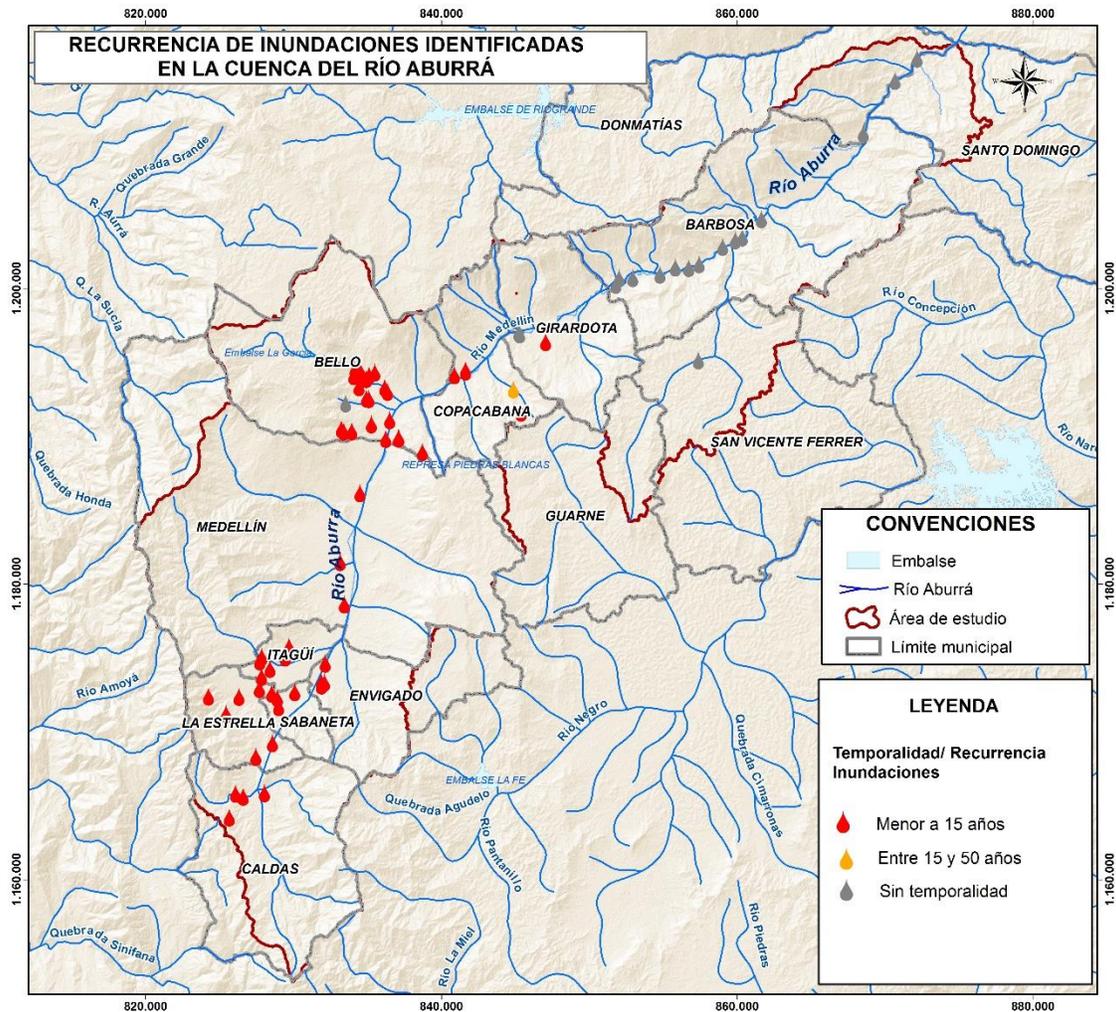
Como resultado de la recopilación realizada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico se identificaron 72 eventos de inundaciones distribuidos a lo largo del cauce del río Aburrá. Como se observa en la *Figura 387*, *Figura 388* y *Figura 389* los eventos se encuentran principalmente en los municipios de Envigado, La Estrella, Sabaneta, Bello e Itagüí.

FIGURA 387. EVENTOS DE INUNDACIÓN RECOPIRADOS E IDENTIFICADOS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

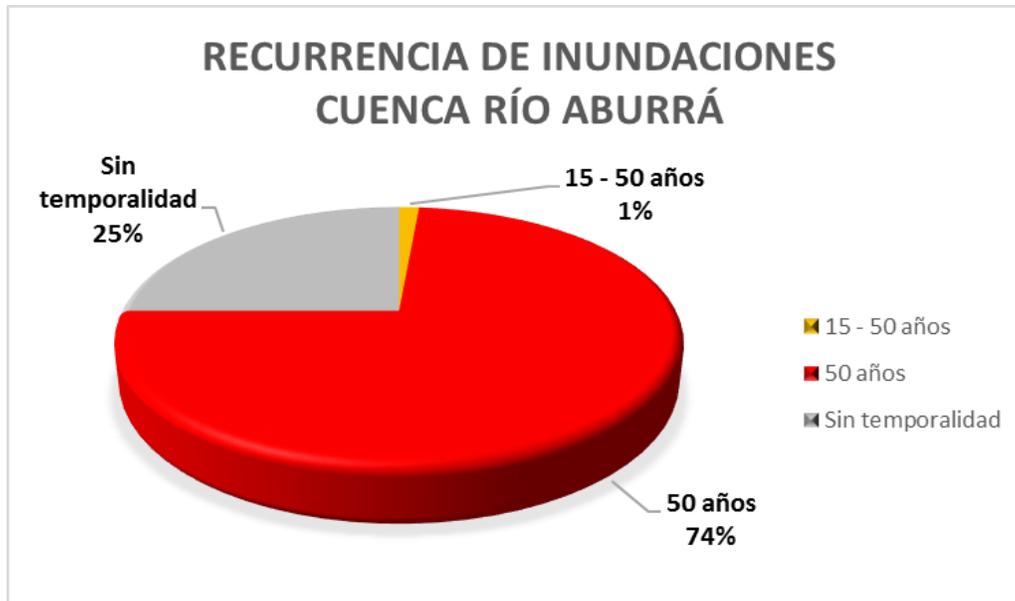
FIGURA 388. RECURRENCIA DE EVENTOS DE INUNDACIONES RECOPIADOS E IDENTIFICADOS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Dentro de las diversas fuentes consultadas para generar el inventario de procesos, se encuentran la información histórica recolectada y suministrada por CORANTIOQUIA y otra información secundaria de Planes de Ordenamiento Territorial, Planes de Gestión del Riesgo, pero con limitación por no tener referencia espacial de detalle en la que se indica por municipio o por cuerpo de agua, sin especificidad espacial ni temporal, al tiempo que en los trabajos de campo no se encontraron evidencias recientes de eventos de inundación cartografiables.

FIGURA 389. DISTRIBUCIÓN DE LA RECURRENCIA DE INUNDACIONES



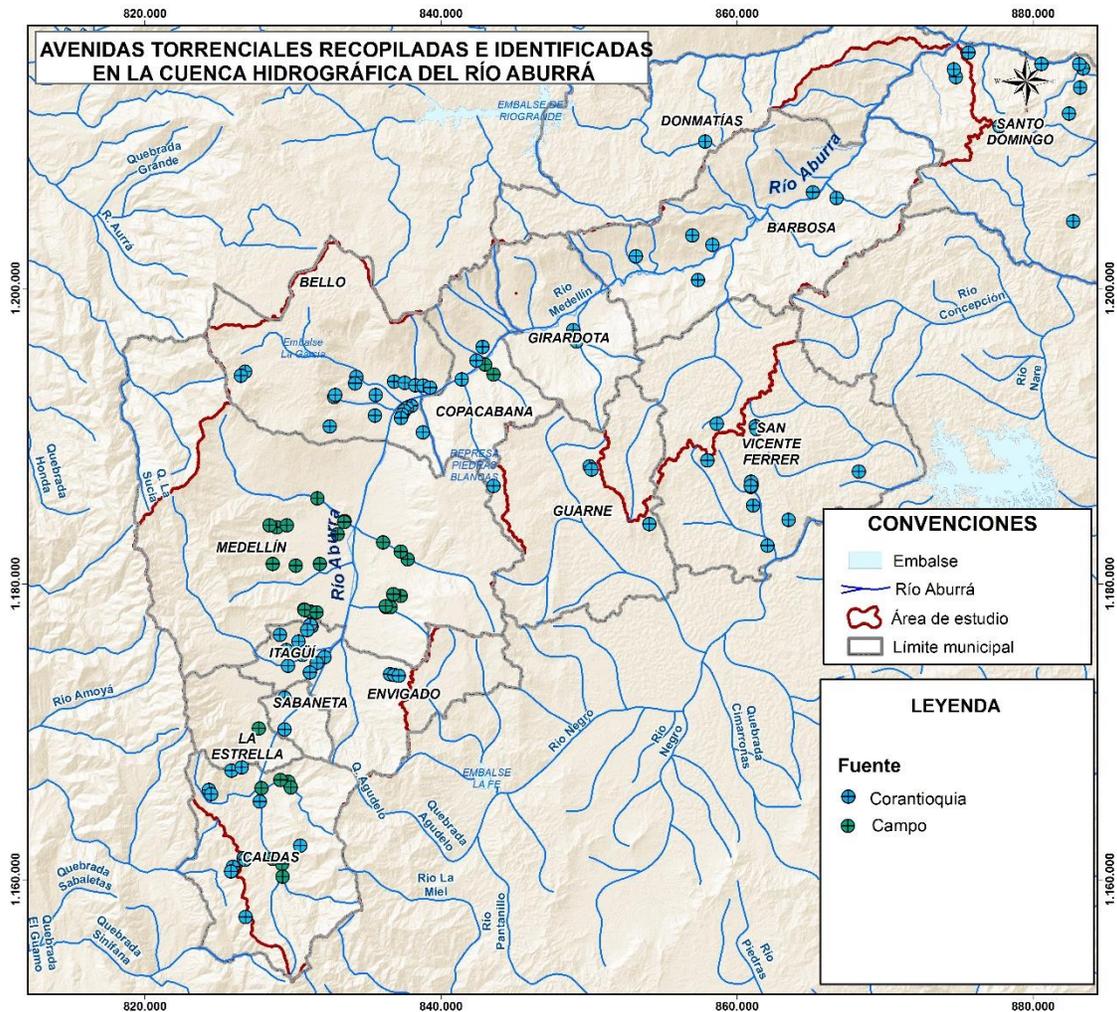
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

La información recopilada muestra que la recurrencia de estos eventos como lo sugiere el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en POMCAS es alta (colores rojos) en su mayoría (74%), lo que coincide con una recurrencia inferior a 15 años algunos eventos cuentan con recurrencia media (colores naranjas) entre 15 y 50 años (1%), dentro de la información recopilada las inundaciones reportadas en el municipio de Barbosa no cuentan con información acerca de su temporalidad (25%). Se observa que los acontecimientos registrados están condicionados principalmente por depósitos aluviales y geoformas de origen fluvioaluvial.

2.7.6.3. Eventos históricos por avenidas torrenciales

Como resultado de la recopilación realizada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico, se identificaron 60 eventos de avenidas torrenciales distribuidos a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Aburrá, como se observa en la *Figura 390* los eventos se encuentran principalmente en los municipios de Bello, Itagüí, Caldas y Barbosa y en la ciudad de Medellín. Dentro de las diversas fuentes consultadas para generar el inventario de procesos, se encuentran la información histórica recolectada y suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), identificada en oficina durante el proceso de fotointerpretación y los eventos recopilados durante las diferentes misiones de campo.

FIGURA 390. EVENTOS TORRENCIALES RECOPIRADOS E IDENTIFICADOS



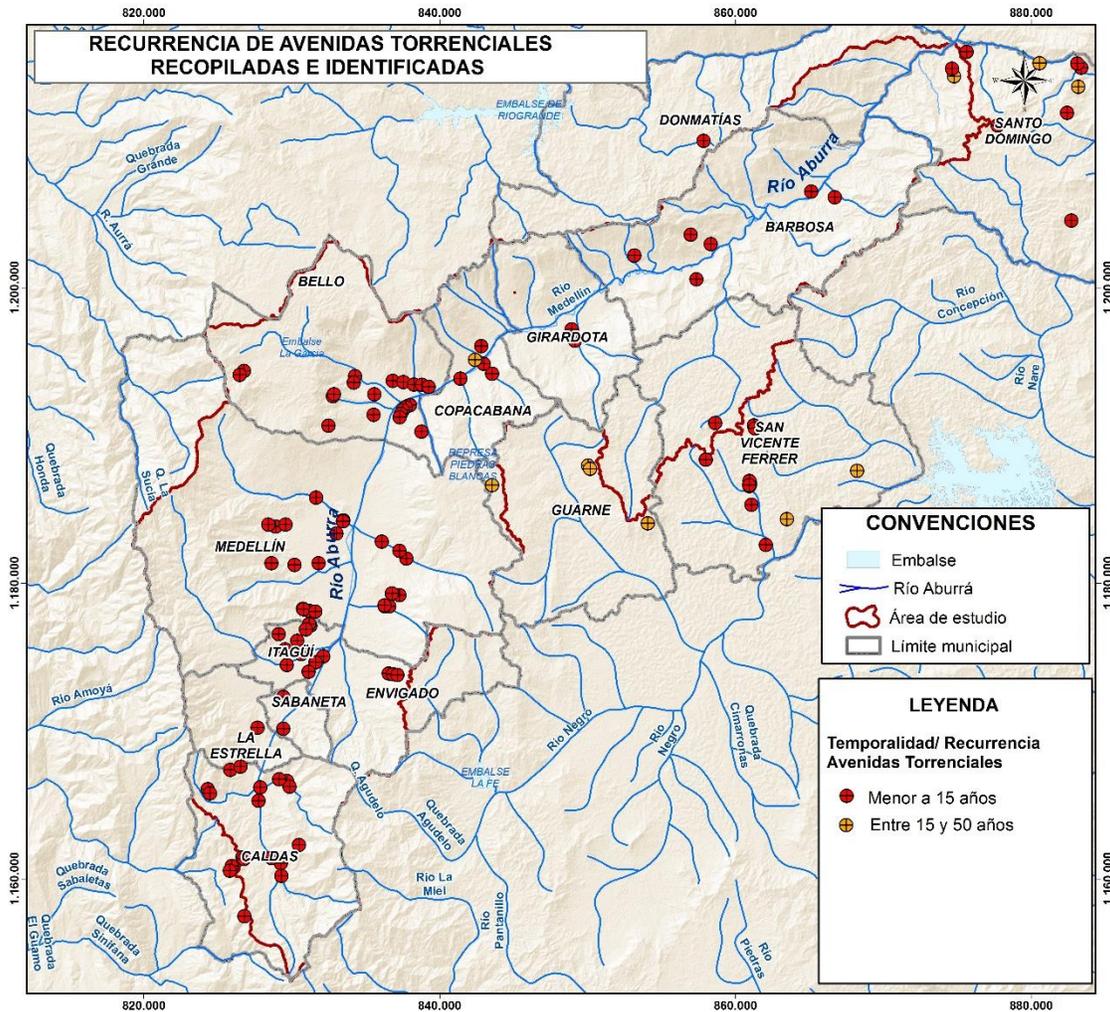
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

La identificación de los eventos amenazantes por avenidas torrenciales muestra una distribución asociada principalmente al cauce principal del río Aburrá y a microcuencas de los municipios de Bello y Copacabana (*Figura 391*).

El análisis de temporalidad muestra que más del 90% de los mismos ocurrieron dentro de una ventana temporal reciente, lo que primará en la selección de zonas de amenaza alta por este tipo de

fenómeno amenazante. En el capítulo análisis de eventos históricos por avenidas torrenciales se hace una descripción detallada de los procesos identificados.

FIGURA 391. RECURRENCIA DE EVENTOS DE AVENIDAS TORRENCIALES RECOPIADOS E IDENTIFICADOS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

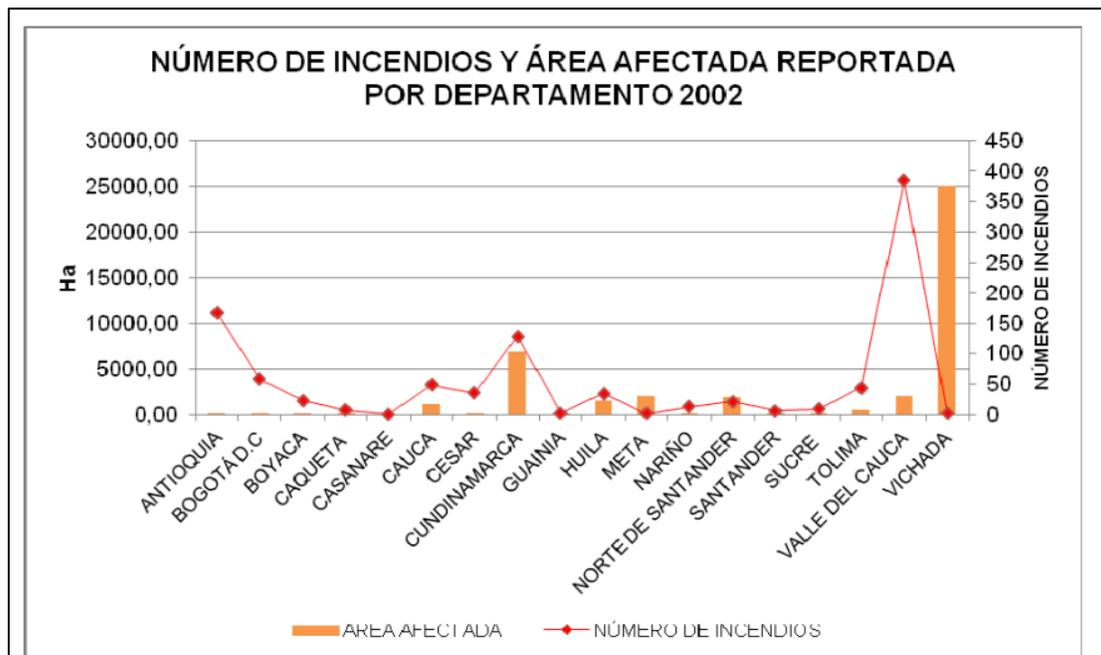
2.7.6.4. Eventos históricos por incendios de la cobertura vegetal

En el departamento de Antioquia la afectación por incendios es recurrente, aunque sus valores sean en número y afectación muy diferente a lo largo de las diferentes vigencias. En el periodo 2002 a 2010 se observan un gran registro de incendios en 2007 con una tendencia conservada hasta el año

2007 (aproximadamente 200 incendios por año)- *Figura 392* y *Figura 393*-. En cuanto al área afectada se puede indicar que 2002 se reportaron menos de 12.000 hectáreas afectadas por los cerca de 170 incendios, mientras que en 2007 casi 200 incendios afectaron cerca de 30.000 hectáreas¹. En el año 2015 se reportaron 9.763 hectáreas afectadas en el territorio departamental.

Si bien la cuenca del río Aburrá cuenta con amplia información acerca de afectaciones y daños por incendios de la cobertura vegetal, dicha información no se logró espacializar, debido a la ausencia de referentes geográficos puntuales de las áreas descritas en las bases de datos de eventos amenazantes y de reporte de desastres naturales.

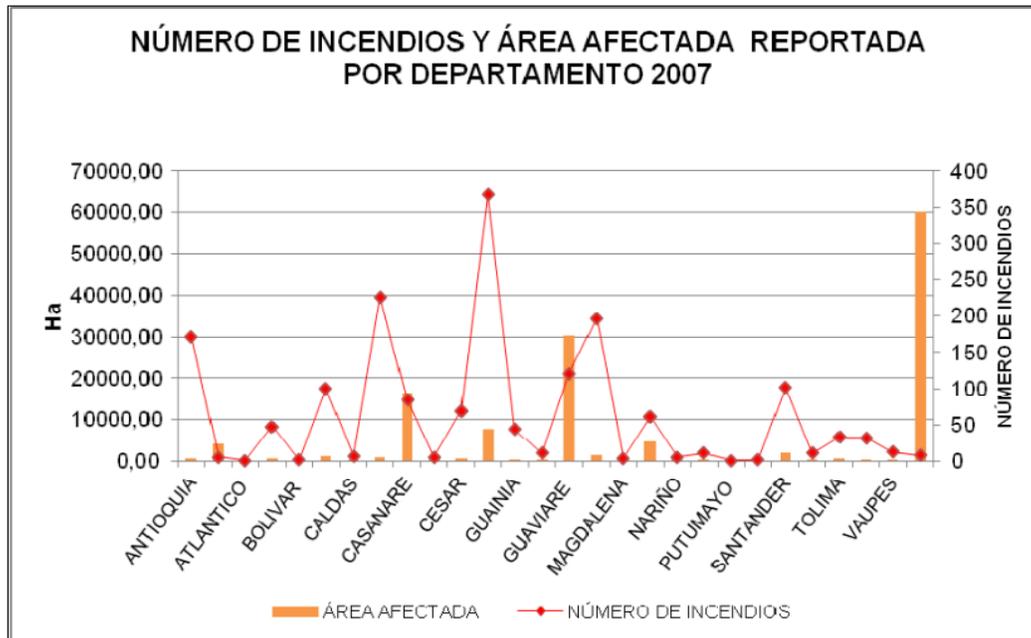
FIGURA 392. INCENDIOS Y ÁREA AFECTADA REPORTADA, AÑO 2002



FUENTE: IDEAM

¹ IDEAM, Estadísticas sobre incendios

FIGURA 393. INCENDIOS Y ÁREA AFECTADA REPORTADA, AÑO 2007



FUENTE: IDEAM

2.7.7. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa

Un movimiento en masa es el proceso por medio del cual un volumen de material constituido por roca, suelo, escombros o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una ladera o talud por acción de la gravedad. Suele ser conocido también como: fenómeno de remoción en masa, proceso de remoción en masa, derrumbe, deslizamiento, falla de talud, entre otros (Perico, 2016). Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve, su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. Si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, la meteorización sumada a otros factores detonantes (sismo, lluvia, acción del hombre) actúa sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición de planicie (Portilla, 2012).

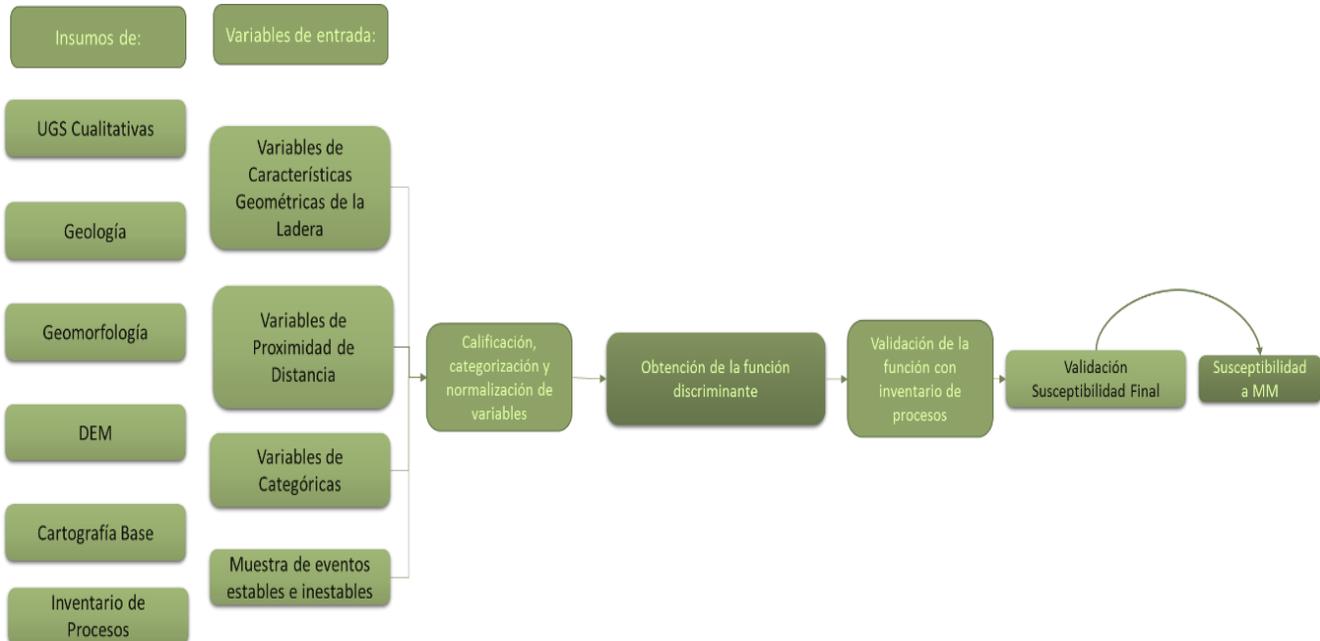
Para identificar y caracterizar los eventos amenazantes para este tipo de procesos, se compilaron eventos de movimientos en masa a partir de varias fuentes, dentro de las que se incluyen la información de campo, eventos históricos y de información secundaria tomados de las bases de

datos de CORANTIOQUIA dentro de la cuenca hidrográfica del río Aburrá. El análisis de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa se realizó con base en la recopilación de la información necesaria para modelar cada fase de este estudio, mediante observaciones de las diferentes variables identificadas. Estos datos fueron cargados y analizados por medio de herramientas SIG, lo cual permitió evaluar de forma óptima su relación espacial y dinámica. Como tendencia general, se observa que en esta cuenca hidrográfica en la zona de topografía elevada que conforma la parte este de la cuenca en los municipios de Estrella, Sabaneta, Envigado, Itagüí, Bello y en la ciudad de Medellín ocurren eventos de movimientos en masa, de manera frecuente. Los principales tipos de procesos de movimientos en masa que se identificaron en la cuenca tienen que ver con flujos, deslizamientos rotacionales y eventuales caídas principalmente.

2.7.7.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a movimientos en masa

El primer paso en este proceso (*Figura 394*) es la determinación de variables indicadas por Nuria (2001) en (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), para lo cual de acuerdo al evento y a las características de las zonas de estudio se establecieron variables condicionantes como pendiente de ladera, pendiente senoidal de la ladera, rugosidad, curvatura, curvatura longitudinal, curvatura transversal, orientación de la ladera, insolación, distancia a drenajes, distancia a vías, distancia a fallas y lineamientos, distancia a canteras, acumulación de cuenca, longitud de cuenca acumulada, pendiente media de cuenca vertiente, geología, geomorfología, UGS (Unidades Geológicas Superficiales) y cobertura.

FIGURA 394. METODOLOGÍA PARA OBTENER SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCCA RÍO ABURRÁ 2016

Para el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, se realizó una evaluación de factores de propensividad dentro de un análisis multivariante discriminante para la asignación de coeficientes o pesos, dentro de una función discriminante ajustada por una variable agrupación, definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003) y Cardona (2013). A partir de lo anterior y una vez obtenido el mapa de susceptibilidad para procesos de remoción en masa en el área la cuenca hidrográfica del río Aburrá, se procede a realizar el análisis de la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa.

2.7.7.2. Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa

A continuación se describen las variables para la ponderación de los factores condicionantes:

2.7.7.2.1. Selección de la muestra de análisis (MM_LM_MOVT)

Está asociado con el inventario de movimientos en masa ubicados en la cuenca y es la información base para la ponderación de variables que participan en el modelamiento de la susceptibilidad,

clasificando los eventos en estables e inestables, como se ve representado en la *Figura 395*. Los sitios inestables surgen del inventario de procesos desarrollado con fotointerpretación y trabajo de campo, de los catálogos históricos de eventos por movimientos en masa asociados a inestabilidad. Por su parte, los sitios estables corresponden con ubicación aleatoria de puntos donde se asume que son áreas estables, por no tener eventos históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa.

La muestra de análisis se puede obtener extrayendo un porcentaje de la población total elegida de manera aleatoria y que sea representativa de la población total. Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$\text{Tamaño de la muestra } (n) = \frac{k^2 pqN}{e^2(N - 1) + k^2 pq}$$

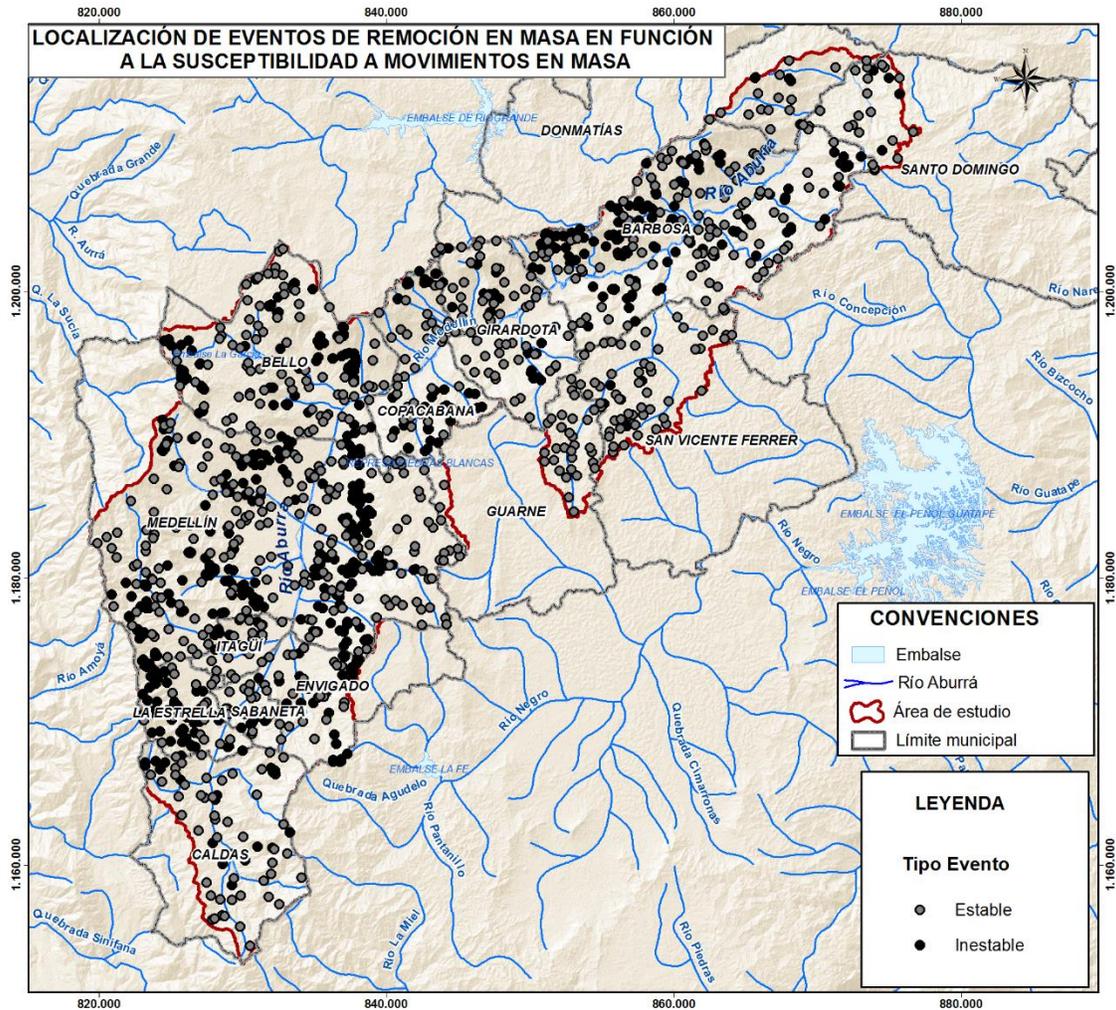
N: es el tamaño de la población, esto es 732 procesos inestables.

k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos que indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos. Típicamente se usa un nivel de confianza del 95% que corresponde con un valor de k igual a 1.96.

e: es el error deseado si se compara la población con la muestra. Se usa generalmente un error de 5%.

p y q son proporciones de individuos que poseen la misma característica de estudio. Son valores desconocidos por lo cual se asumen con valor de 0.5.

FIGURA 395. SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE EVENTOS ESTABLES INESTABLES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Al calcular el tamaño de la muestra, se obtiene un valor que se considera menos representativo para el tamaño de la cuenca en comparación con el total, si se tiene en cuenta que es preciso definir puntos estables y generar un factor de agrupación para aplicar el discriminante. Es mejor usar toda la población y no una muestra pues, según Cardona (2013), es preferible obtener un modelo con mayor sensibilidad que clasifique correctamente la mayor cantidad de deslizamientos. Debido a que el análisis discriminante trabaja bien cuando las poblaciones (celdas estables e inestables) tienen un tamaño similar en la muestra (Baeza, 1994). Se definieron sitios estables que corresponden con ubicación aleatoria de celdas, donde se asume que son áreas estables por no tener eventos

históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa. Finalmente, la unión de zonas inestables y estables definidas, al ser completamente independientes entre sí como celdas relacionadas se toma completa como muestra de análisis para no descartar casos importantes dentro del modelo.

El análisis de la distribución espacial y el comportamiento de esta variable, para el área de la cuenca del río Aburrá fueron descritos previamente.

- Formato: Vector tipo punto.
- Fuente: Base de datos de información de campo, eventos históricos proporcionados por las bases de datos más la fotointerpretación de la actualización del POMCA Aburrá, 2016.

2.7.7.2.2. Factores condicionantes

▪ **Modelo digital de elevación (DEM)**

El modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) es una matriz tipo ráster en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros del mismo (*Figura 396*).

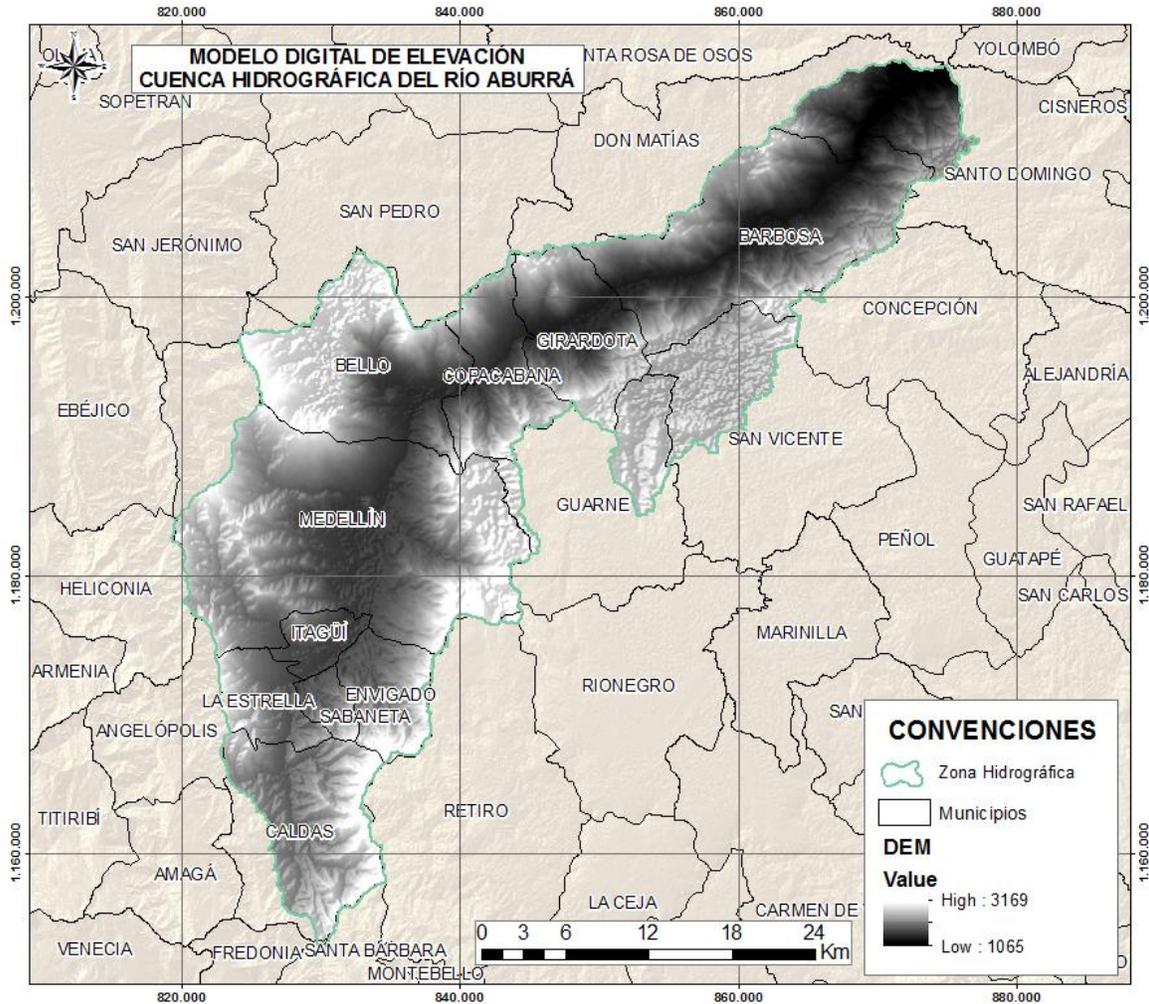
Este factor constituye el insumo de entrada para obtener las variables que componen las Características Geométricas de la Ladera (CGL): PEND, PENDS, ASPECT, INSOL, RUGOS, CURVAR, PERFIL, PLA, ACUENCA Y LONG. Dichas variables se describen en el siguiente numeral.

- Formato: ráster (Valor de celda indica el valor de la elevación). Resolución 12.5 m.
- Fuente: cartografía base.

▪ **Características geométricas de la ladera (CGL)**

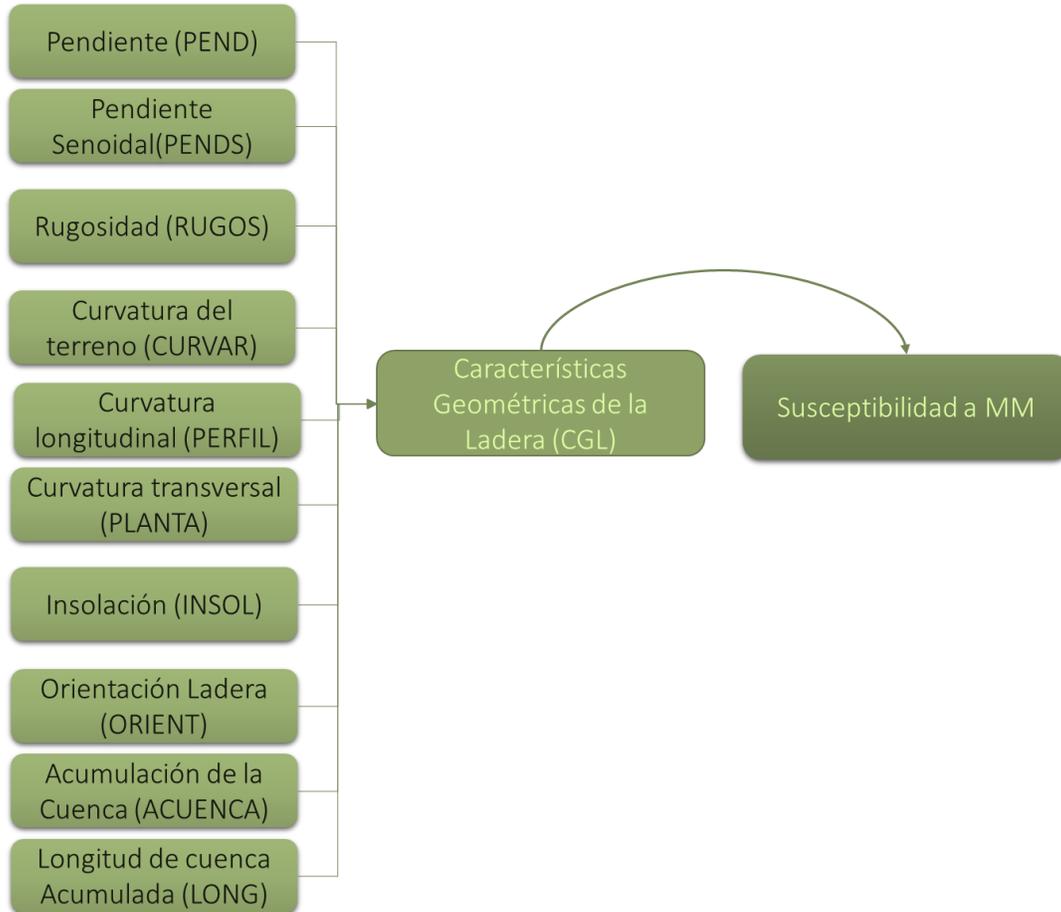
Las variables que constituyen las características geométricas de la ladera, también llamadas variables derivadas del DEM para el sector de la cuenca hidrográfica del río Aburrá, incluyen: Pendiente de ladera, Pendiente senoidal de ladera, Rugosidad, Curvatura del terreno, Curvatura longitudinal, Curvatura transversal, Insolación, Orientación ladera, Acumulación de la cuenca y Longitud de cuenca acumulada se encuentran representadas en la *Figura 397* y se definen a continuación.

FIGURA 396. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RIO ABURRÁ. 2016

FIGURA 397. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA LADERA EN FUNCIÓN A LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

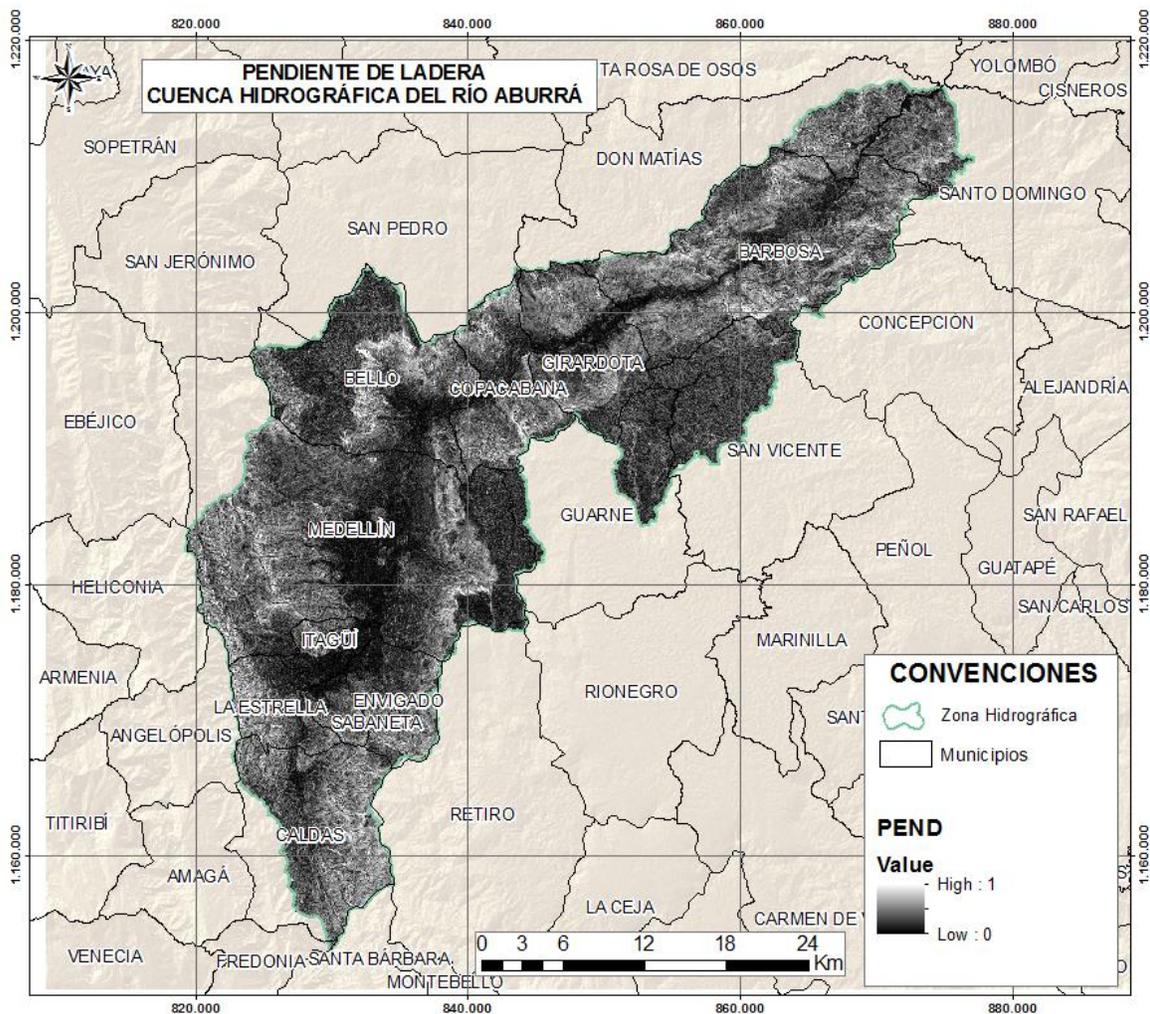
► Pendiente de la ladera (PEND)

Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su importancia radica en la influencia del factor sobre la estabilidad del suelo como factor geométrico (*Figura 398*).

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

Para esta variable, se normalizaron sus valores entre 0 y 1, siendo 0 muy poco susceptible y 1 muy susceptible. Sin embargo, la variable se mantiene con valores graduales continuos y no se agrupa por rangos a pesar que típicamente se haga y se solicite en los alcances técnicos del presente estudio; esto porque esta agrupación es solamente aplicable en métodos heurísticos geomorfológicos y no para métodos heurísticos semicuantitativos, estadísticos o determinísticos en los que mantenerse cualitativamente significa reducir resolución y calidad de las variables empleadas.

FIGURA 398. PENDIENTE DE LA LADERA

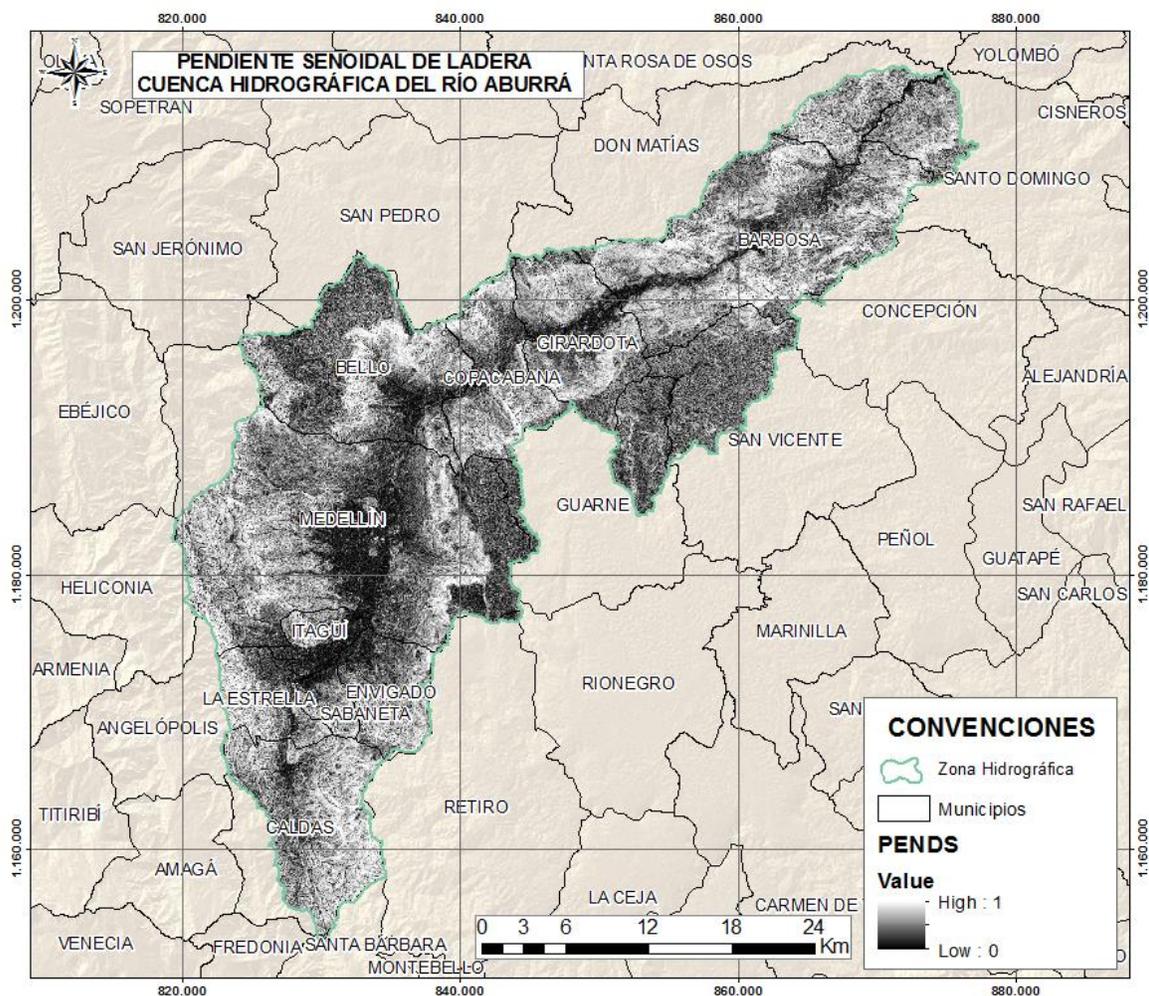


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

► **Pendiente senoidal de la ladera (PENDS)**

Corresponde a la pendiente senoidal de la ladera que tiene un comportamiento relevante según las zonas de rotura de los deslizamientos superficiales, pues la afectación del aumento de la pendiente es proporcional hasta los 45° , valor a partir del cual empieza a tener un comportamiento inversamente proporcional (*Figura 399*).

FIGURA 399. PENDIENTE SENOIDAL DE LADERA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

Debido a que los valores de Pendiente Senoidal de la Ladera varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno es más estable y 1 cuando el terreno es más susceptible a sufrir un evento de movimiento en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

► Rugosidad o variación de la pendiente del terreno (RUGOS)

Corresponde a la desviación del vector normal a la superficie de cada celda, permitiendo definir límites de taludes y laderas. Además tiene un impacto en los deslizamientos, pues a mayores cambios de pendiente aumenta su probabilidad (Figura 400).

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

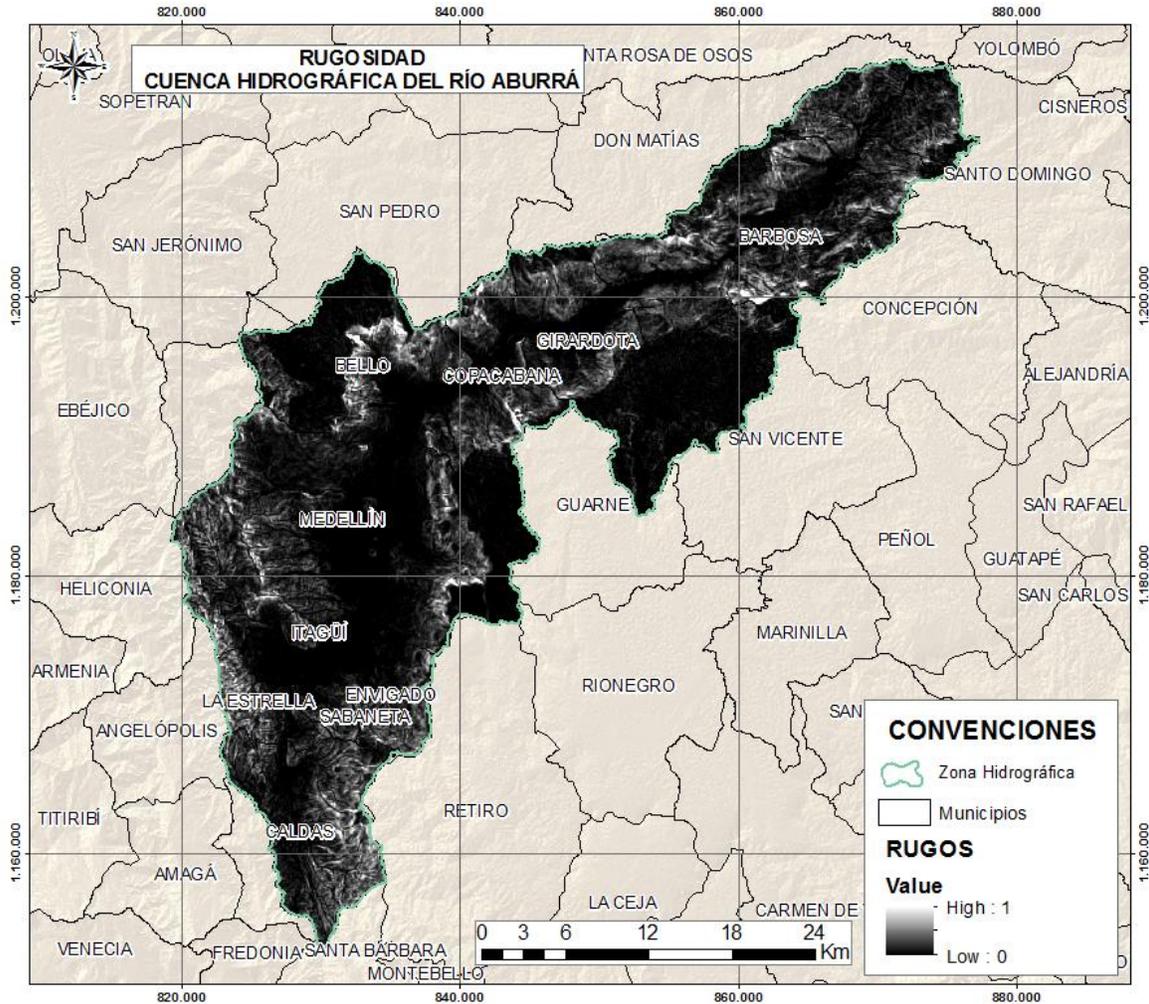
Debido a que los valores de Rugosidad varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno no presenta variación alguna y 1 cuando el terreno presenta alta variación, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

► Curvatura del terreno (CURVAR)

Corresponde al grado de curvatura de cada celda a evaluar respecto al plano vertical. Su relación con el modelo está dada por el grado de concentración del drenaje superficial, el cual aumenta en las zonas con mayor concavidad (Figura 401). En Tabla 566 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno utilizada en el presente estudio.

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

FIGURA 400. RUGOSIDAD



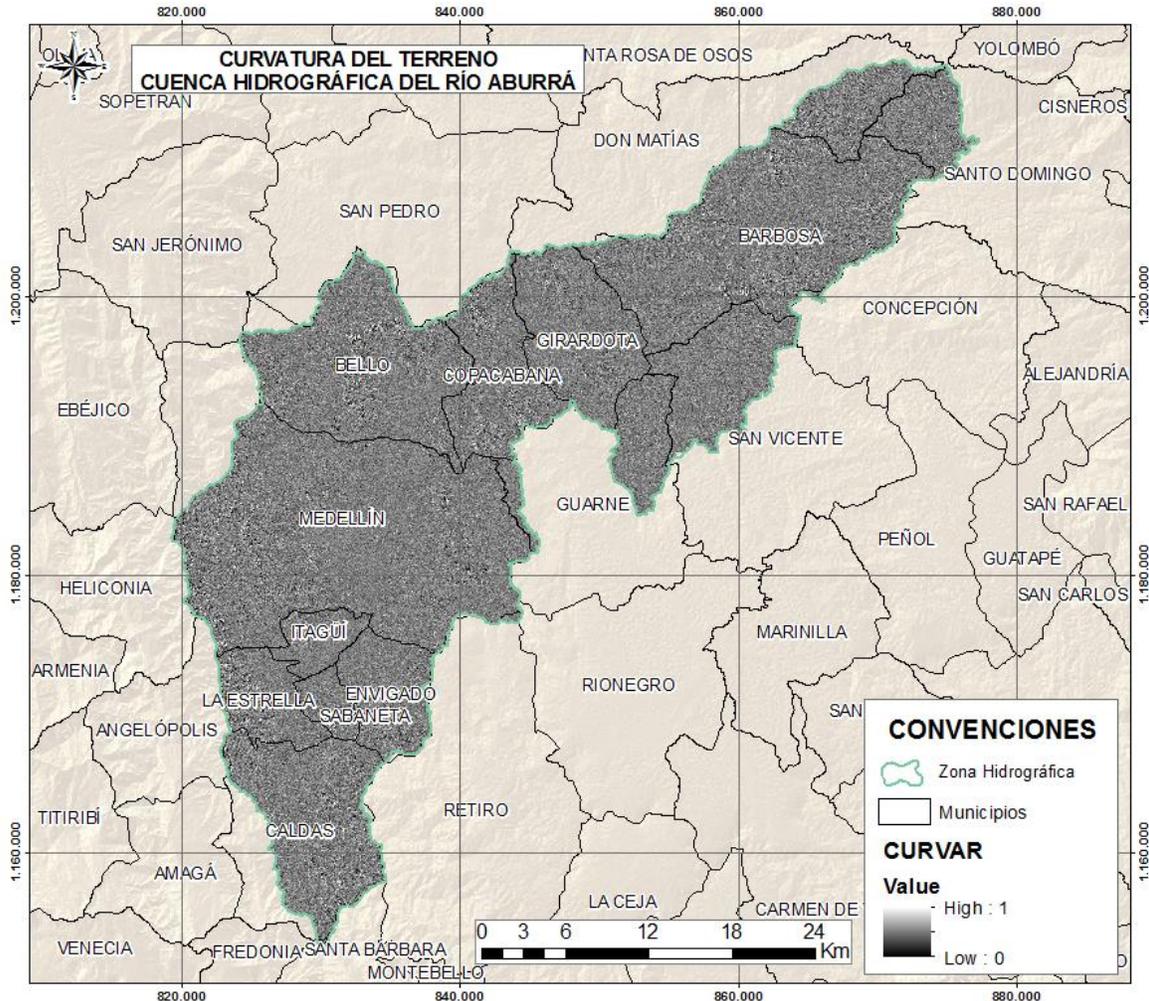
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 566. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE CURVATURA DEL TERRENO

CURVATURA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<-0,3	ALTA	1
-0,3 – 0,3	MODERADA	0,5
>0,3	BAJA	0

MODIFICADO: NURIA, 2001

FIGURA 401. CURVATURA DEL TERRENO

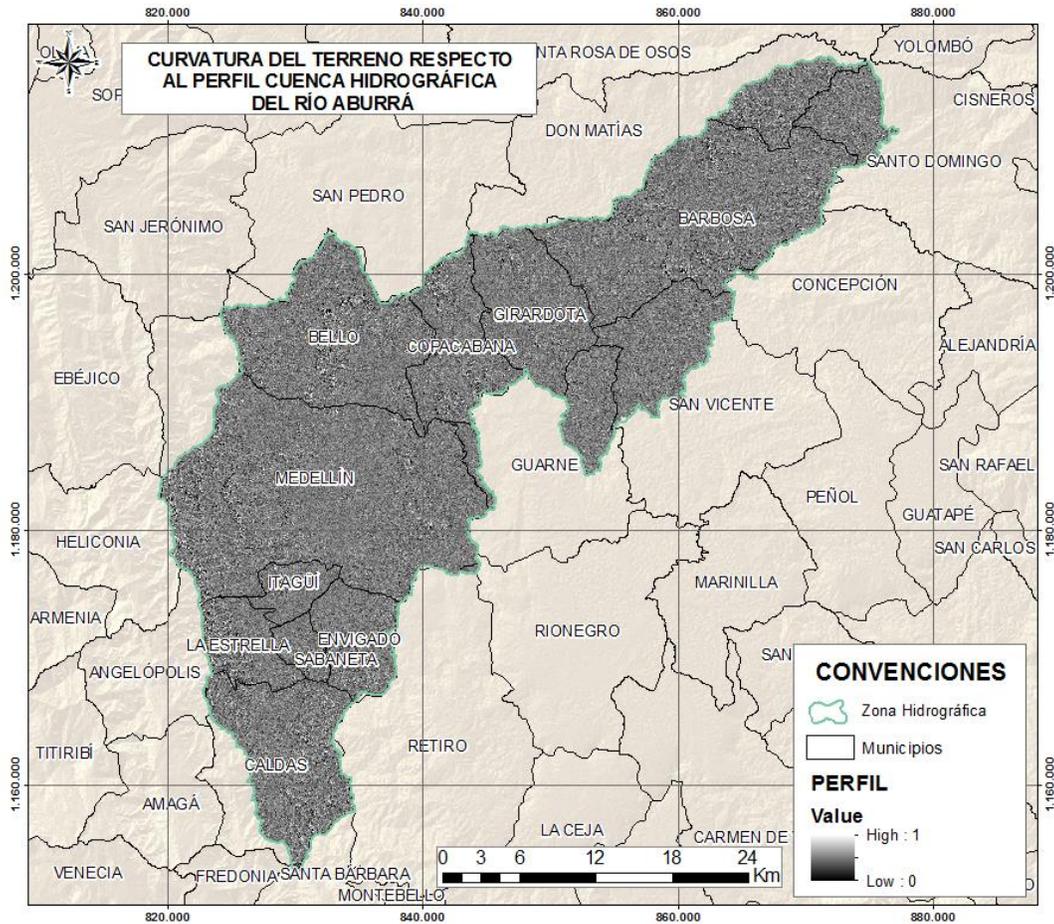


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

► **Curvatura respecto al perfil (PERFIL)**

Hace referencia al grado de curvatura, pero a diferencia de la variable CURVAR, esta se mide de manera longitudinal y tiene una repercusión en la generación de erosión y deposición debido a su impacto en la escorrentía y la aceleración del flujo (*Figura 402*). En la *Tabla 567* se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno respecto al perfil utilizada en el presente estudio.

FIGURA 402. CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PERFIL



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

TABLA 567. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PERFIL

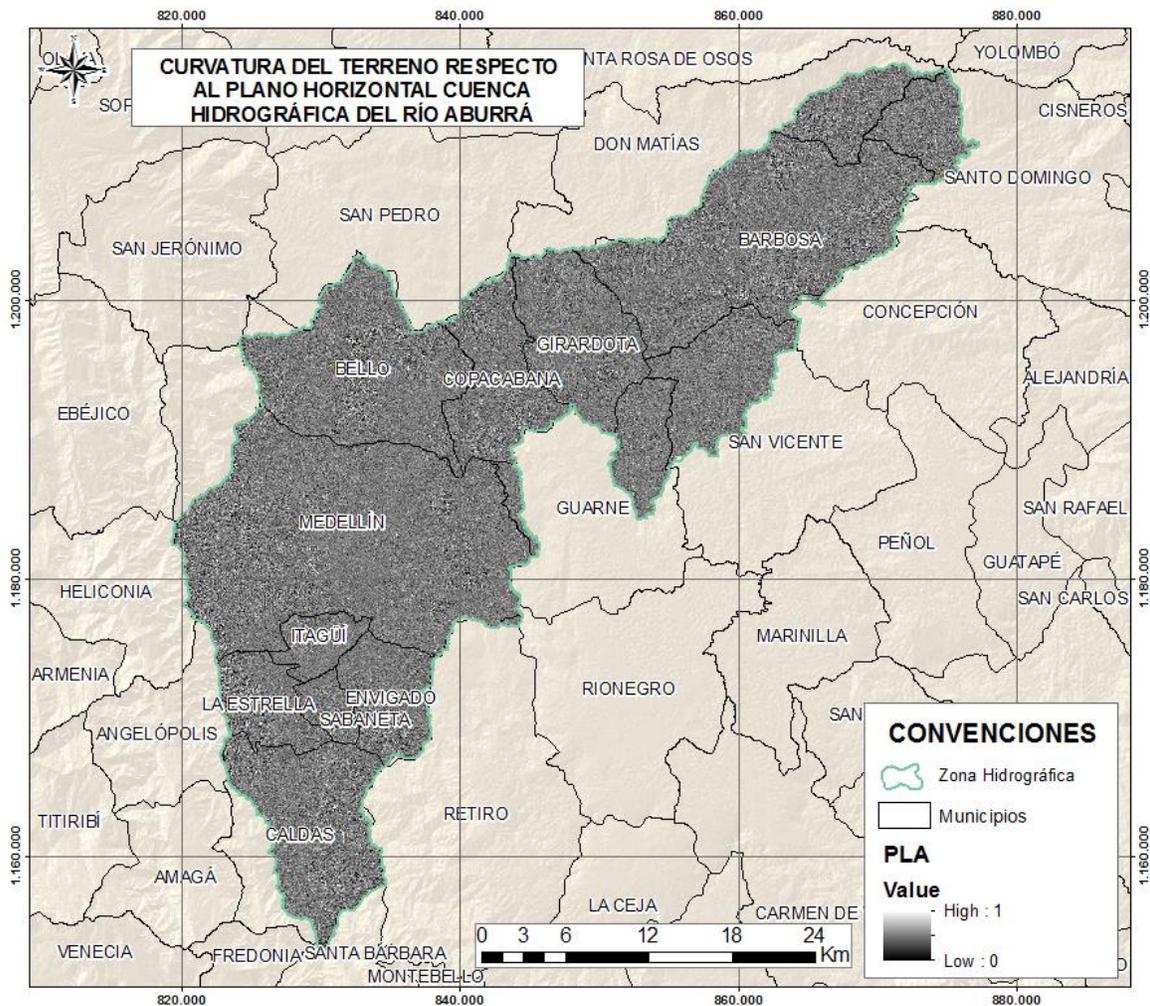
CURVATURA LONGITUDINAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<0,3	ALTA	1
-0,3 – 0,3	MODERADA	0,5
>0,3	BAJA	0

MODIFICADO: NURIA, 2001

► Curvatura respecto al plano horizontal (PLANTA)

Esta variable también está asociada con la curvatura del terreno, pero para este caso es medido en la dirección perpendicular de la pendiente. Indica la convergencia del flujo hacia la celda (*Figura 403*).

FIGURA 403. CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PLANO HORIZONTAL



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

En la Tabla 568 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno respecto al plano horizontal utilizada en el presente estudio.

TABLA 568. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE CURVATURA DEL TERRENO RESPECTO AL PLANO HORIZONTAL

CURVATURA LONGITUDINAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<0,3	ALTA	1
-0,3 – 0,3	MODERADA	0,5
>0,3	BAJA	0

MODIFICADO: NURIA, 2001

► Insolación (INSOL)

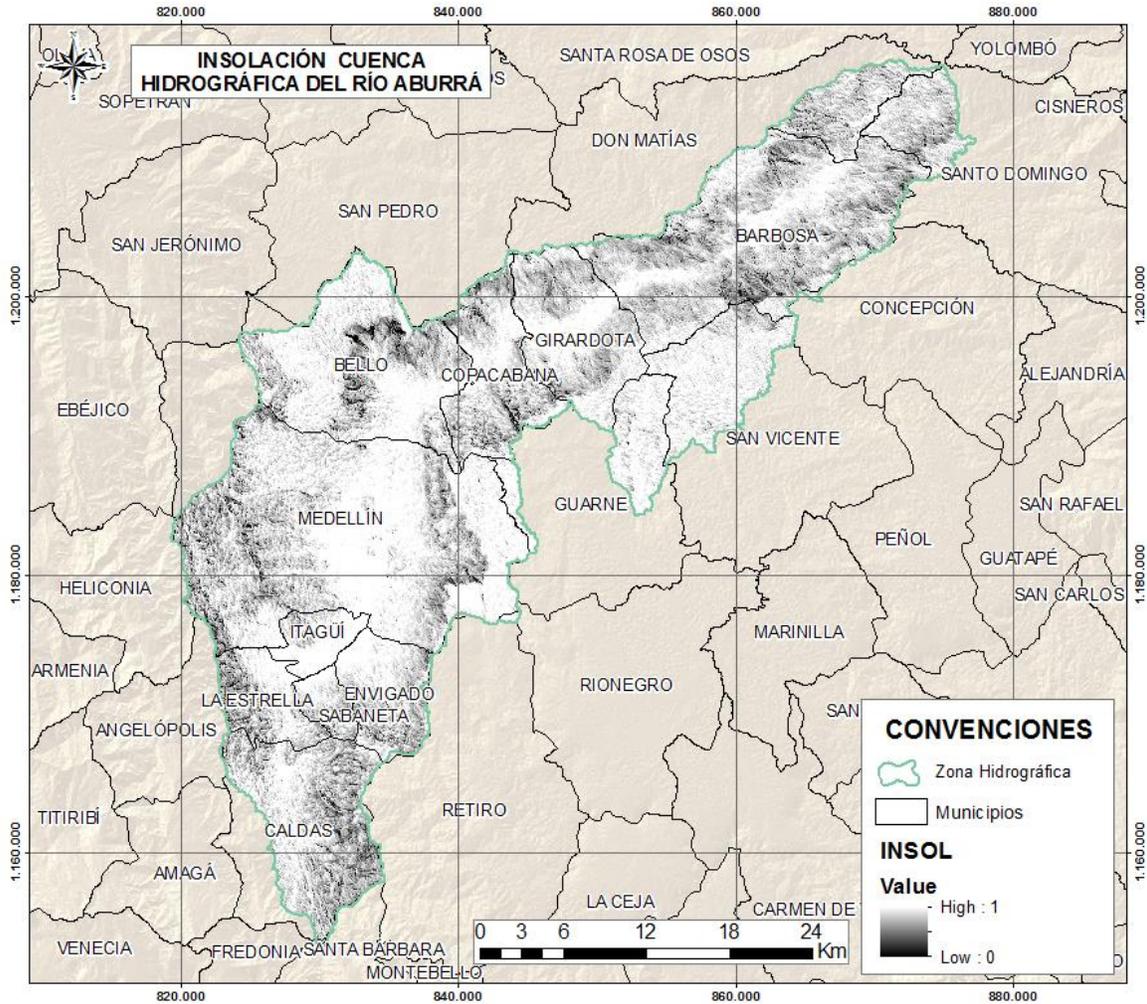
Corresponde al coeficiente de iluminación o intensidad reflejada de la superficie terrestre, indicando el tiempo en que cada punto a evaluar dentro de la cuenca se encuentra en la sombra, lo que tiene incidencia en la humedad del suelo y a cambios bruscos (Figura 404).

Esta variable fue calculada con el promedio de 10 rásters que se generaron variando azimut y altitud de la siguiente manera: 5 Ráster generados con azimut 315 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90. Y 5 Ráster generados con azimut 135 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90.

Debido a que los valores de Insolación varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno presenta menor retención de humedad y en consecuencia menor susceptibilidad a eventos de movimientos en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

FIGURA 404. INSOLACIÓN



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

► **Orientación de la ladera (ORIENT)**

Hace referencia a la dirección de exposición de la ladera para cada punto de la cuenca a evaluar y se adiciona con el fin de considerar de manera indirecta la variación de humedad por evaporación generada por exposición al sol y al viento y por avance de los frentes nubosos. Esta variación de humedad, aunque puede llegar a no ser representativa en función de la orientación de la ladera, puede llegar a relacionarse con las condiciones de saturación de los suelos, cantidad y tipo de vegetación que podría afectar positiva o negativamente la estabilidad, dependiendo del sistema

TABLA 569. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE LA LADERA

ORIENTACIÓN DE LADERA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
-1	Baja	0
0 – 22.5	Alta	1
22.5 – 67.5	Moderada	0,66
67.5 – 112.5	Baja	0,33
112.5 – 157.5	Moderada	0,66
157.5 – 202.5	Alta	1
202.5 – 247.5	Moderada	0,66
247.5 – 292.5	Baja	0,33
292.5 – 337.5	Moderada	0,66
337.5 – 360	Alta	1

MODIFICADO: NURIA, 2001

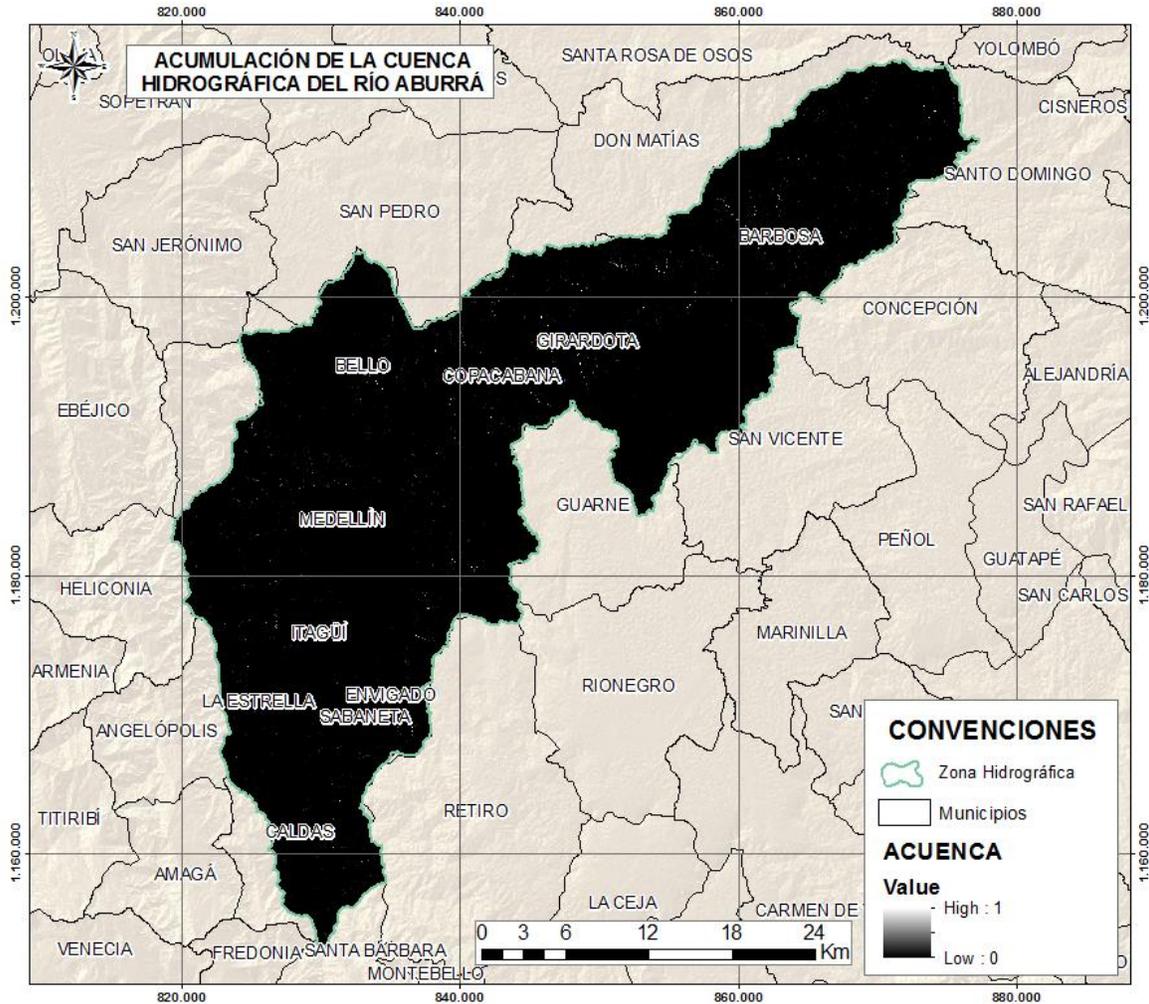
► **Acumulación de la cuenca (ACUENCA)**

La acumulación de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno. A mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de producir roturas. Se obtiene a partir de la dirección del flujo, el cual permite posteriormente calcular la acumulación por cada celda del DEM (*Figura 406*).

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

Debido a que sus valores varían entre 0 y 1, donde 1 hace referencia a las zonas de mayor acumulación de agua y 0 las zonas de menor acumulación de agua, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

FIGURA 406. ACUMULACIÓN DE LA CUENCA

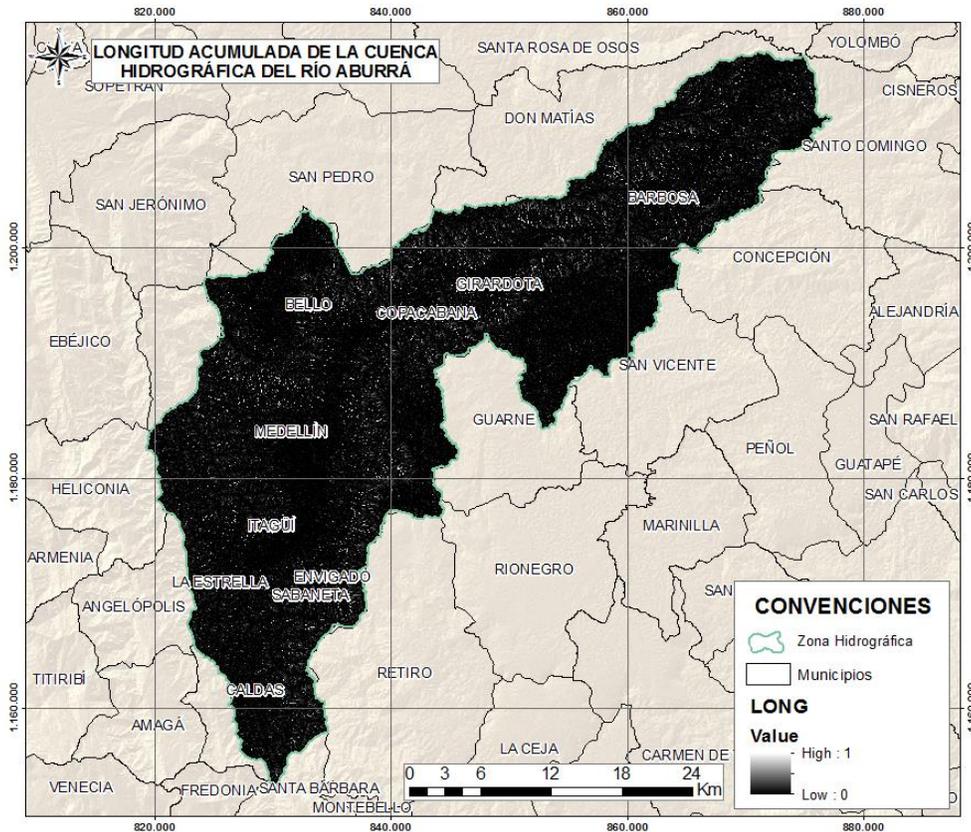


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

► **Longitud de cuenca acumulada (LONG)**

Esta variable da una indicación del tamaño de la cuenca acumulada, la capacidad de la misma para concentrar agua subterránea y de la posible acumulación de sedimentos. Se obtiene a partir de la dirección de flujo que permite posteriormente calcular la longitud máxima de la cuenca acumulada para cada celda del DEM (*Figura 407*).

FIGURA 407. LONGITUD DE CUENCA ACUMULADA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

- Formato: ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

▪ **Análisis de las variables asociadas a las Características Geométricas de la Ladera (CGL)**

Para el área de estudio el modelo digital de elevación (DEM) permite ver que la zona comprende alturas entre 1065 y 3169 m.s.n.m. aproximadamente, que en su mayoría representan una topografía abrupta con dos tendencias principales: hacia la parte externa de la cuenca alturas máximas y en el centro de la cuenca se observa el cambio abrupto de altura hacia el Cañón del río Aburrá, en donde se evidencian las alturas mínimas de la cuenca sobre el nivel del mar, sobre todo hacia la parte urbana de la ciudad de Medellín. La zona en su mayoría presenta pendientes de alto

grado con excepción de los límites sureste de la cuenca y el sector del urbano de la ciudad de Medellín.

La rugosidad del terreno en general es muy baja, consecuente con la relación de pendientes (valores menores al 0,004), evidenciando que el cambio en altura presenta pendientes en general homogéneas hacia la parte externa de la zona de estudio, sin cambios abruptos de la pendiente en la cuenca exceptuando en el cambio de pendiente de Valle del río Aburrá. El valor normalizado más alto es de alrededor de 0.5, zonas de elevaciones moderadas y con algún grado de variabilidad en relación con la pendiente.

En la cuenca hidrográfica la topografía, la pendiente y la rugosidad del terreno permiten inferir una baja heterogeneidad del terreno y por lo tanto, cierto grado de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

La pendiente senoidal de ladera (PENDS) presenta una distribución espacial muy similar a la pendiente de la cuenca, en general los valores normalizados son altos (0,8) y susceptibilidad alta en gran parte de la zona. Sin embargo, al sureste de la cuenca y en la zona urbana de la ciudad de Medellín, se presentan los menores valores de pendiente (0,4) y por lo tanto, menor susceptibilidad a eventos de remoción en masa.

La curvatura del terreno (CURVAR) presenta en general valores medios generalmente con calificaciones moderadas y bajas a mayor escala lo que implica una alta variabilidad del terreno entre zonas cóncavas, planas y convexas.

La tendencia en la curvatura del perfil (PERFIL) muestra que el terreno tiene principalmente curvaturas cóncavas que conforman zonas homogéneas (áreas de depósito) delimitadas por zonas elevadas donde se localizan las áreas con mayor susceptibilidad a procesos de denudación. La curvatura del plano (PLANTA) es perpendicular a la dirección de la pendiente máxima, se relaciona con la convergencia y divergencia de la corriente por una superficie. En esta zona, la variable presenta valores de clasificación cercanos a 0,7 en toda la cuenca.

Observando los índices de insolación (INSOL) relacionados con los de la orientación de la pendiente, (ORIENT) se observa una susceptibilidad alta en la mayoría del terreno, hacia el sector sureste y centro de la cuenca, estas variables aumentan y por lo tanto su susceptibilidad a eventos

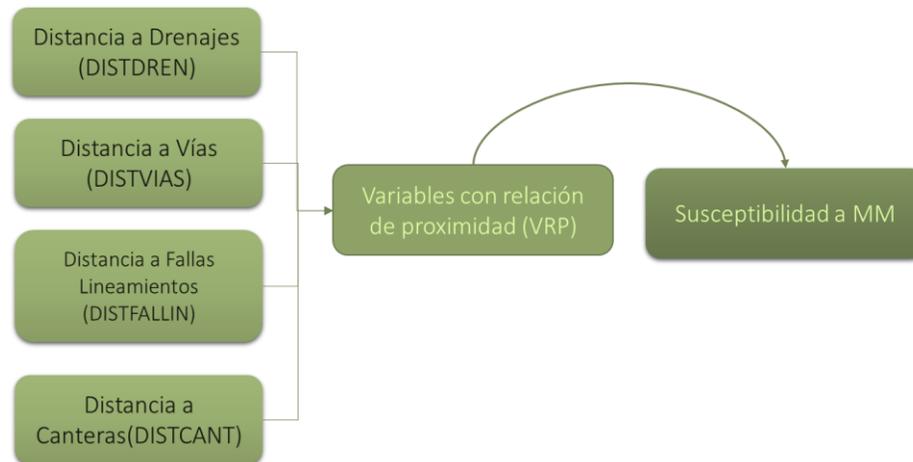
por remoción en masa aumenta, debido a la carencia de una cobertura vegetal que permita mayor estabilidad del terreno.

Se presenta una muy baja capacidad de almacenamiento de agua para la sub cuenca hidrográfica, los valores normalizados de acumulación de la cuenca (ACUENCA) tienden en su gran mayoría a cero. La susceptibilidad por movimientos en masa disminuye al no tener una alta acumulación de agua hacia los sectores más altos, su baja pendiente hace que sea estable y disminuya la probabilidad de presentarse movimientos en masa.

2.7.7.2.3. Variables con relación de proximidad (VRP)

La relación de proximidad emplea el cálculo de la distancia de cada celda de análisis a los elementos sobre los cuales se considera una influencia en los procesos de inestabilidad geotécnica. Típicamente, se define para cada punto inestable y estable la distancia directa a cada uno de los elementos analizados (p.e. vías, canteras, ríos) y se normaliza en función de las máximas distancias encontradas. Este tipo de consideración hace perder sensibilidad al análisis, pues distancias muy largas no reflejan influencia del elemento de análisis sobre el proceso de inestabilidad que se esté consultando, por lo cual, se define para este estudio una distancia límite de influencia estimada a partir de la relación que existe entre un punto inestable y la relación lineal de la variable de proximidad en su estabilidad. Este límite se define bajo criterios morfométricos y según los rasgos característicos de los puntos inestables observados para reducir drásticamente los valores extremos y aumentar significativamente la sensibilidad hacia este tipo de variables, las cuales se encuentran representadas en la Figura 408.

FIGURA 408. VARIABLES CON RELACIÓN DE PROXIMIDAD EN FUNCIÓN A LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ Densidad de drenaje y distancia a drenajes (DISTDREN)

Estas variables hacen referencia a la presencia del sistema de la red de drenaje, la cual se relaciona con el gradiente promedio y áreas de drenaje de las corrientes, cuya presencia favorece la ocurrencia de movimientos en masa por efecto de la socavación lateral en los márgenes laterales. Espacialmente se puede definir como densidad de drenaje o como influencia por proximidad, siendo la primera importante para el efecto del tiempo de concentración de caudales y generación de avenidas torrenciales y el segundo importante para considerar el efecto de socavación en la generación de deslizamientos en los márgenes de los cuerpos de agua. Para el presente análisis no se consideró la densidad de drenaje por ser mutuamente dependiente con la distancia a drenajes sin limitación de proximidad. En la *Tabla 570* se presenta la calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua utilizada para el presente estudio (*Figura 409*).

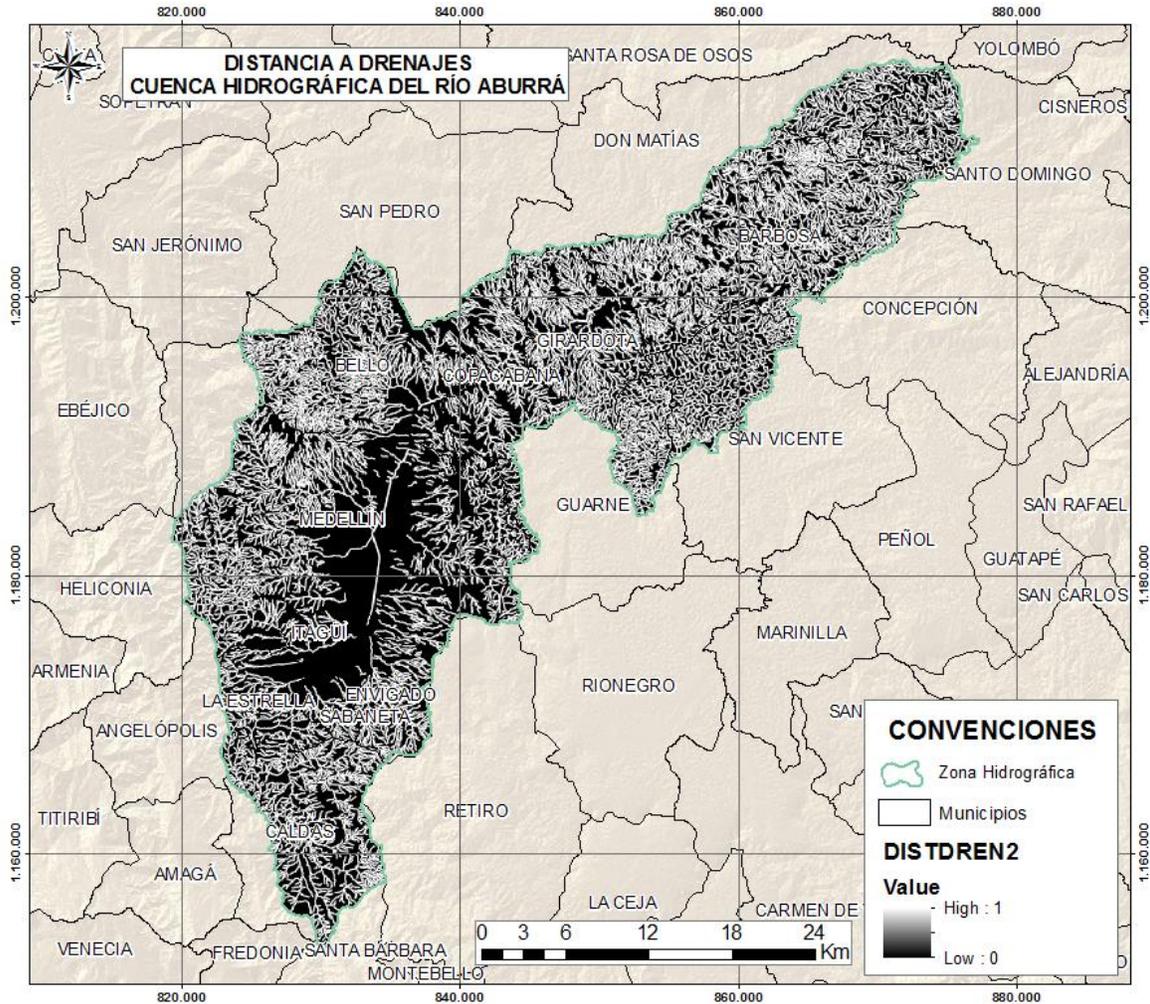
- Formato: vector tipo línea.
- Fuente: IGAC escala 25.000

TABLA 570. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A CUERPOS DE AGUA

DISTANCIA A CUERPOS DE AGUA (m)	CATEGORÍA DE AMENZA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 – 20	Alta	0,9
20 – 30	Alta	0,8
30 – 40	Alta	0,7
40 – 50	Moderada	0,6
50 – 60	Moderada	0,5
60 – 70	Moderada	0,4
70 – 80	Baja	0,3
80 – 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 409. RELACIÓN DE PROXIMIDAD DE LA DISTANCIA A DRENAJES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

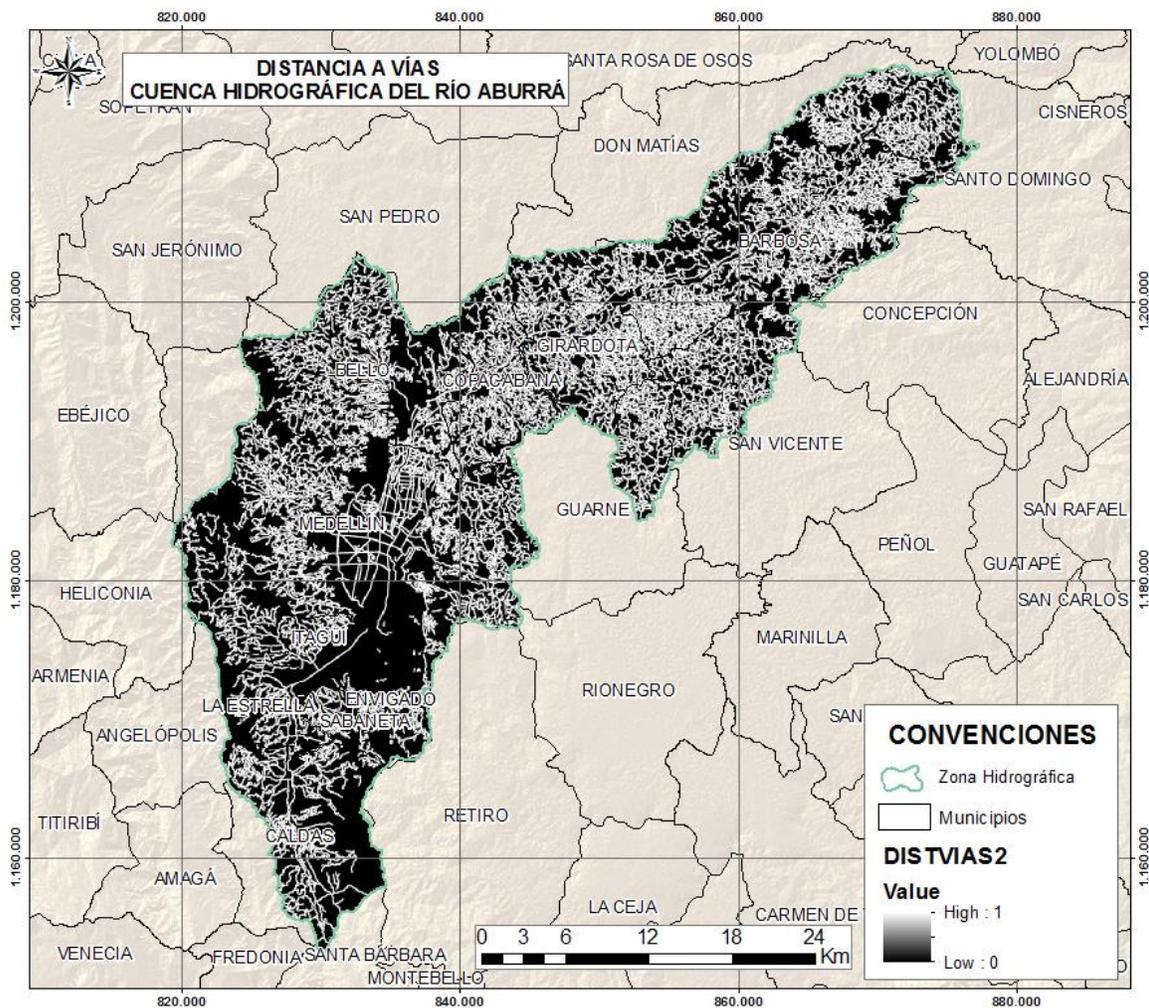
▪ **Distancia a vías (DISTVIAS)**

Corresponde a zonas en las que principalmente la acción antrópica se ve representada en taludes o cortes viales, en donde se pueden presentar condiciones de inestabilidad por su conformación morfométrica. Esta variable se puede involucrar mediante la obtención de la densidad vial, de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel o la distancia a la misma, generando mayor susceptibilidad a medida que se va aproximando al trazado vial (*Figura 410*).

En la *Tabla 571* se presenta la calificación y categorización de la distancia a vías utilizada en el presente estudio.

- Formato: vector tipo línea.
- Fuente: IGAC escala 25.000.

FIGURA 410. RELACIÓN DE PROXIMIDAD DE LA DISTANCIA A VÍAS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 571. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A VÍAS

DISTANCIA A VÍAS (m)	CATEGORIA DE AMENZA	CALIFICACIÓN
0 – 10	ALTA	1
10 – 20	ALTA	0,9
20 – 30	ALTA	0,8
30 – 40	ALTA	0,7
40 – 50	MODERADA	0,6
50 – 60	MODERADA	0,5
60 – 70	MODERADA	0,4
70 – 80	BAJA	0,3
80 – 90	BAJA	0,2
100	BAJA	0,1

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Densidad de fracturamiento y distancia fallas y lineamientos (DISTFALLIN)**

La densidad de fracturamiento (*Figura 411*) depende de la relación de proximidad a la falla o lineamiento (*Figura 412*), según su método de obtención. Esta variable corresponde a las discontinuidades estructurales regionales de los macizos y estratos rocosos que disminuyen la resistencia de este, aumentando la susceptibilidad a movimientos en masa. En consecuencia entre más proximidad exista a la falla, menor será la capacidad de resistencia de la roca a los procesos denudacionales, presentándose mayores espesores de suelos residuales con menores grados de consolidación y reducción de sus propiedades mecánicas. Por lo anterior se realiza la siguiente clasificación y calificación representado en la *Tabla 572*.

- Formato: vector tipo línea.
- Fuente: SGC.

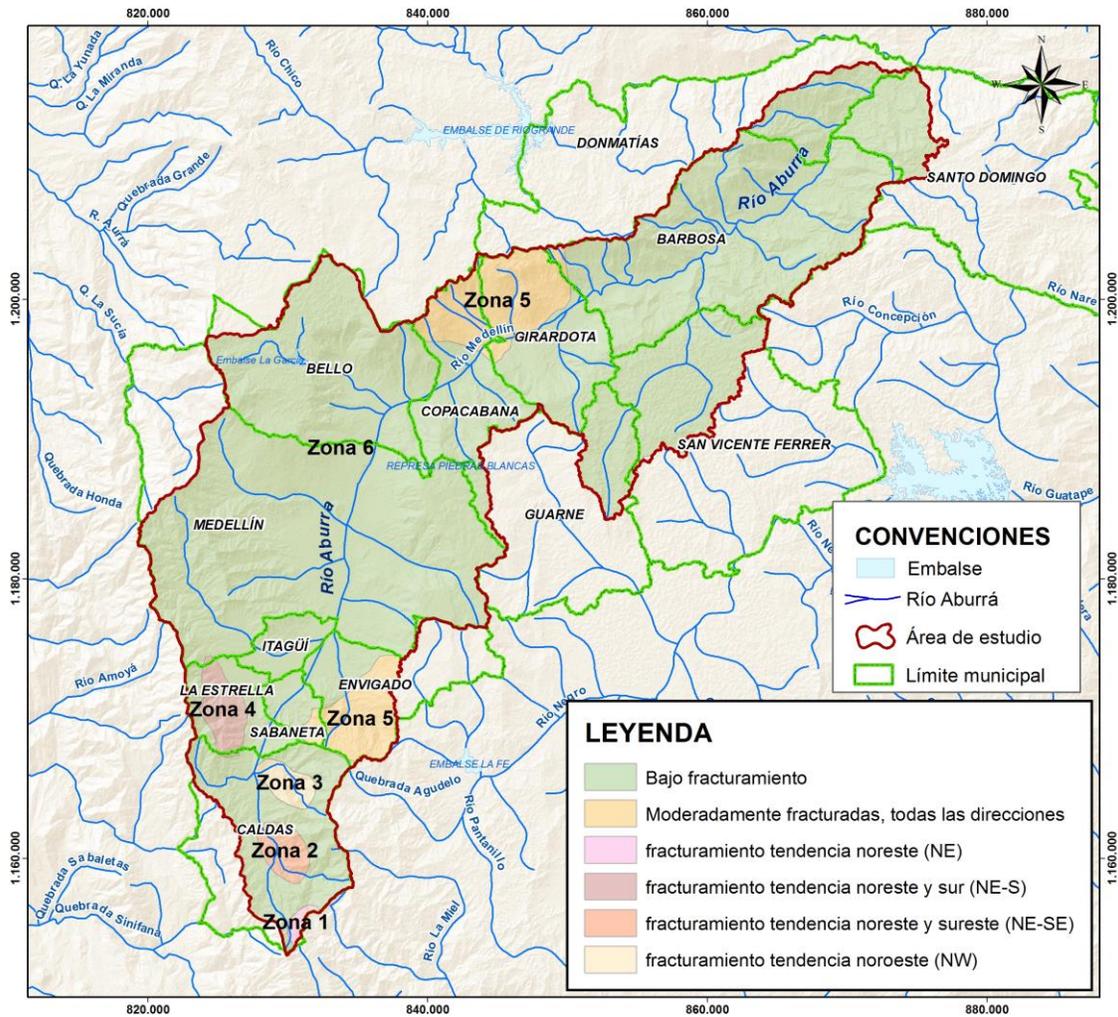
TABLA 572. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A FALLAS Y LINEAMIENTOS

DISTANCIA FALLAS Y LINEAMIENTOS (m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 10	ALTA	1
10 - 20	ALTA	0,9
20 – 30	ALTA	0,8
30 – 40	ALTA	0,7
40 – 50	MODERADA	0,6
50 – 60	MODERADA	0,5
60 – 70	MODERADA	0,4
70 – 80	BAJA	0,3
80– 90	BAJA	0,2
100	BAJA	0,1

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

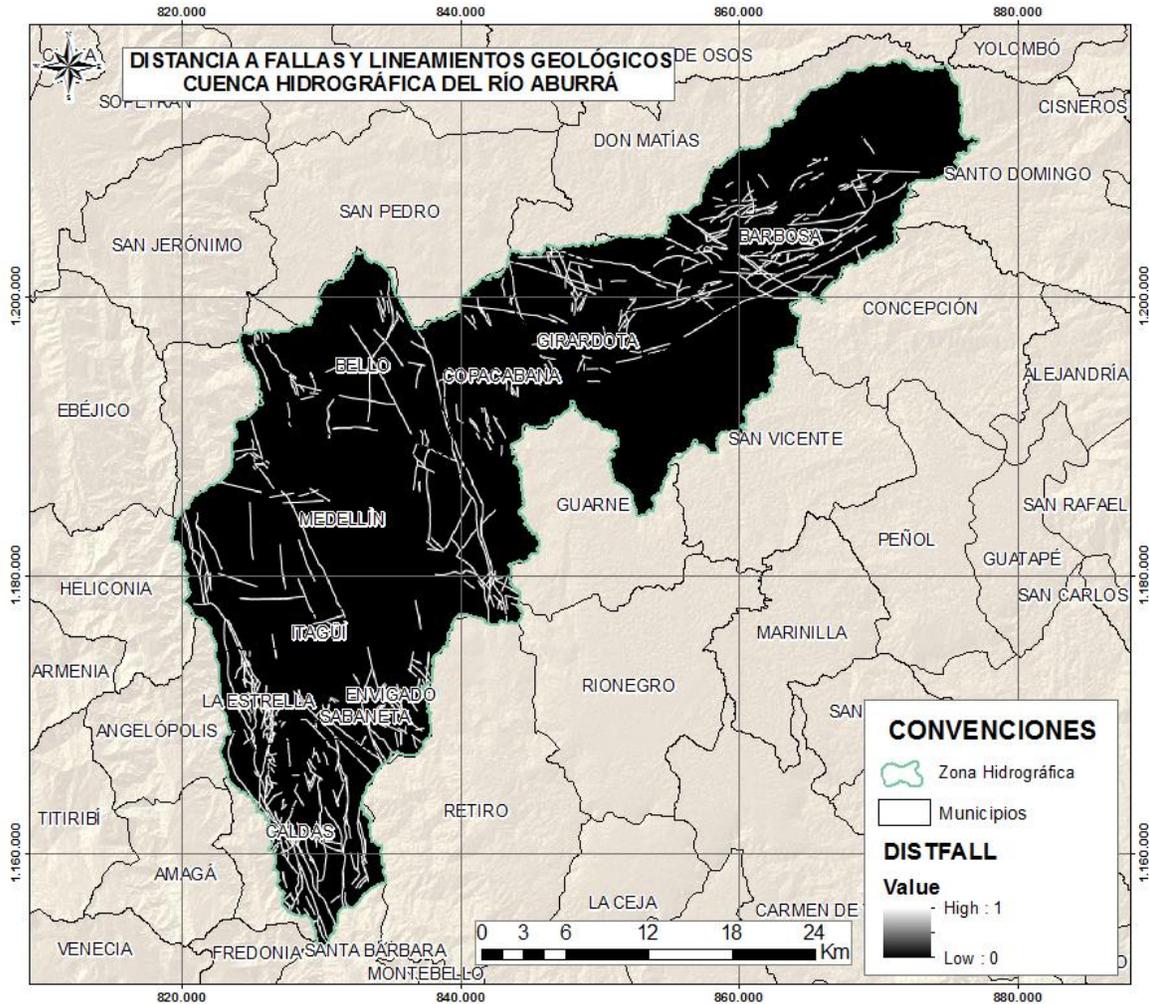
La presencia de fallas locales puede relacionarse con dos aspectos directos a la inestabilidad de laderas: sismicidad local como factor detonante y degradación de los materiales como factor condicionante. Al estar la cuenca cercana al sistema de fallas de Romeral, se considera que la actividad de fallas locales se opaca considerablemente por la sismicidad regional, por lo cual no es conveniente relacionar movimientos en masa a los que se les desconoce su localización temporal detallada con la sismicidad local de fallas a las que no se les ha estudiado en detalle cuantitativo sus actividad. Por lo anterior, el análisis se enfocó en la posibilidad de degradación de las propiedades mecánicas de los materiales de roca y suelo en proximidad a las fallas.

FIGURA 411. DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 412. DISTANCIA A FALLAS Y LINEAMIENTOS



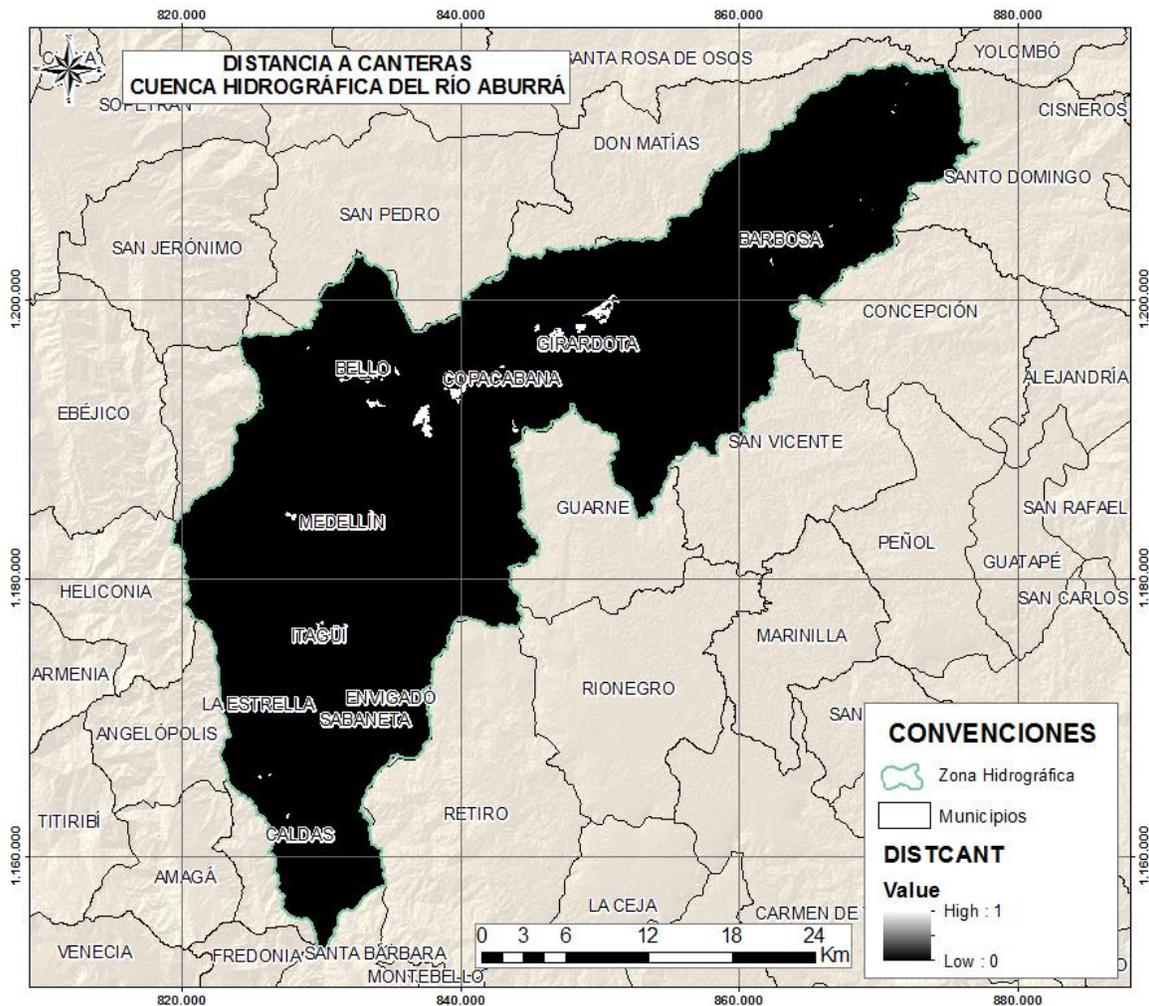
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Distancia a canteras (DISTCANT)**

Esta variable hace referencia a la presencia intervención antrópica en la explotación de canteras, que por su ejecución puede provocar desestabilidad de taludes por cortes en la ladera, movimientos de tierra y ausencia de vegetación, generando aumento en la susceptibilidad por movimientos en masa (*Figura 413*).

En la *Tabla 573* se presenta la calificación y categorización de la distancia a canteras utilizada para el presente estudio.

FIGURA 413. RELACIÓN DE PROXIMIDAD DE LA DISTANCIA A CANTERAS EN FUNCIÓN A LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

- Formato: vector tipo polígono.
- Fuente: SGC e IGAC.

TABLA 573. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DISTANCIA A CANTERAS

DISTANCIA A CANTERAS (m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 – 20	Alta	0,9
20 – 30	Alta	0,8
30 – 40	Alta	0,7
40 – 50	Moderada	0,6
50 – 60	Moderada	0,5
60 – 70	Moderada	0,4
70 – 80	Baja	0,3
80– 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Análisis de las variables asociadas a la relación de proximidad (VRP)**

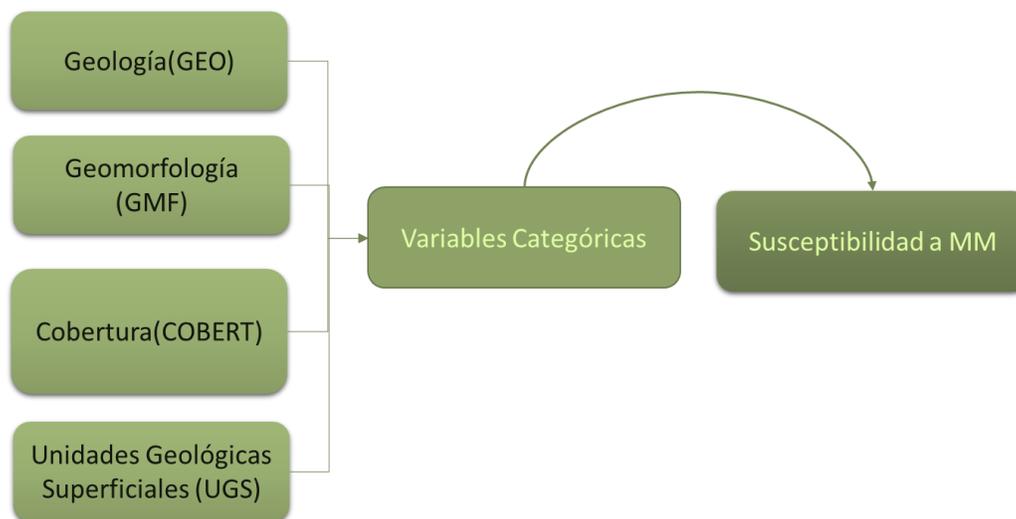
Dentro de los factores condicionantes que aumentan o disminuyen la susceptibilidad a movimientos en masa son las variables con relación de proximidad. Estas constituyen uno de los elementos determinantes en la ocurrencia de este tipo de eventos ya que entre menor distancia se tenga con uno de estos elementos condicionantes como drenajes, vías, fallas o canteras, se correlaciona un aumento en las pendientes, mayor erosión y dinámicas constantes que dan forma al relieve a través de procesos morfodinámicos como socavación lateral, erosión y movimientos en masa.

La distancia a vías y canteras es uno de los condicionantes más fuertes para aumentar o disminuir la susceptibilidad de una zona a eventos de movimientos en masa, pues son factores antrópicos que propician la desestabilización de taludes por corte, remoción de material y ausencia de vegetación. A partir de esto, se determinó un patrón de distribución espacial de zonas gradualmente más susceptibles que otras, condicionadas por la proximidad a las cabeceras municipales, donde es común encontrarse una densidad vial mayor, lo cual es observable primordialmente en el sector occidental de la cuenca. A su vez, el sector que presenta mayor propensividad a movimientos en masa por su proximidad a canteras, corresponde a los municipios de La Estrella, Girardota, Bello y Copacabana. En general la cuenca presenta una alta densidad vial exceptuando los municipios de Envigado y Caldas.

2.7.7.2.4. Variables categóricas

La susceptibilidad a movimientos en masa depende también de variables categóricas como geología, geomorfología y coberturas de la tierra. La composición litológica de la roca se traduce en una mayor o menor competencia o resistencia de la misma, el ambiente de formación (estructural o denudacional) en que esta se encuentre formando, redundando en la influencia diferenciada de procesos de meteorización y la cobertura de la tierra sugiere degradación o conservación de los suelos superficiales y mayores o menores infiltraciones de agua. La combinación de estos factores aporta considerablemente a la ocurrencia de movimientos en masa, teniendo en cuenta siempre la variación del terreno, los ambientes morfogenéticos y el grado de humedad e infiltración en la zona que puede afectar la resistencia del material (*Figura 414*).

FIGURA 414. VARIABLES CATEGÓRICAS CONDICIONANTES DE MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ Origen o unidades geológicas básicas (GLG)

La variación de las características litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de movimientos en masa, ya que llevan a diferencias en la resistencia y permeabilidad de las rocas y suelos. Típicamente se plantea como variable ORIGEN haciendo referencia al origen y composición litológica en la zona de estudio desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales de superficie en dos grandes grupos generales: suelo o roca. Su planteamiento para un modelo de análisis discriminante, se realiza en función de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en las variables, redundando en la creación de factores

altamente correlacionados espacialmente, pues esa variable se emplea directamente más adelante. Para evitar esta dependencia entre variables y considerando que la variación de las características litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de movimientos en masa dadas las diferencias en la resistencia y permeabilidad de las unidades geológicas básicas, se define el origen de los materiales en función de la geología básica y se clasifican por propensividad de manera normalizada (0 para baja a 1 para alta) (*Figura 415*).

En la *Tabla 574* se presenta la clasificación y los pesos asignados a cada una de las clases de acuerdo a sus características (calificación de la susceptibilidad).

- Formato: vector tipo polígono.
- Fuente: unidades geológicas con fines de ordenación de cuencas – Actualización POMCA Aburrá 2016.

TABLA 574. CALIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA

NOMBRE	NOMENCLATURA	CALIFICACIÓN
Complejo Ofiolítico de Romeral	JgR	0,5
Metabasitas del Picacho	JKmbP	0,6
Dunitas de Medellín	JKuM	0,4
Milonita de La Iguaná	Jml	0,5
Batolito Antioqueño	KcdA	0,2
Stock de Las Estancias	KcdE	0,5
Stock de Media Luna	KcdML	0,3
Stock de Altavista	KdA	0,5
Gabros de Copacabana	KgC	0,3
Stock de San Diego	KgSD	0,2
Stock de Ovejas	KtO	0,4
Miembro volcánico	KvQG	0,3
Miembro Volcano sedimentario	KvsQG	0,6
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	NQFII	0,7
Anfibolita de Medellín	PRaM	0,5
Esquistos anfibolíticos de Baldías	PRaB	0,4

NOMBRE	NOMENCLATURA	CALIFICACIÓN
Gneis de La Ceja	PRgLC	0,4
Migmatitas de Puente Peláez	PRmPP	0,3
Gneis Milonítico de Sajonia	PRnms	0,7
Anfibolitas del Alto de Minas	PZaAM	0,5
Anfibolita granatífera de Caldas	PZagC	0,3
Esquistos de Caldas	PZeC	0,5
Depósitos Cuaternarios Aluviales	Qal	0,1
Depósitos aluviotorrenciales	Qat	0,4
Río Aburrá	Río Aburrá	0
Esquistos de Cajamarca	TRec	0,5

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

En la Tabla 575 se presenta la calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica.

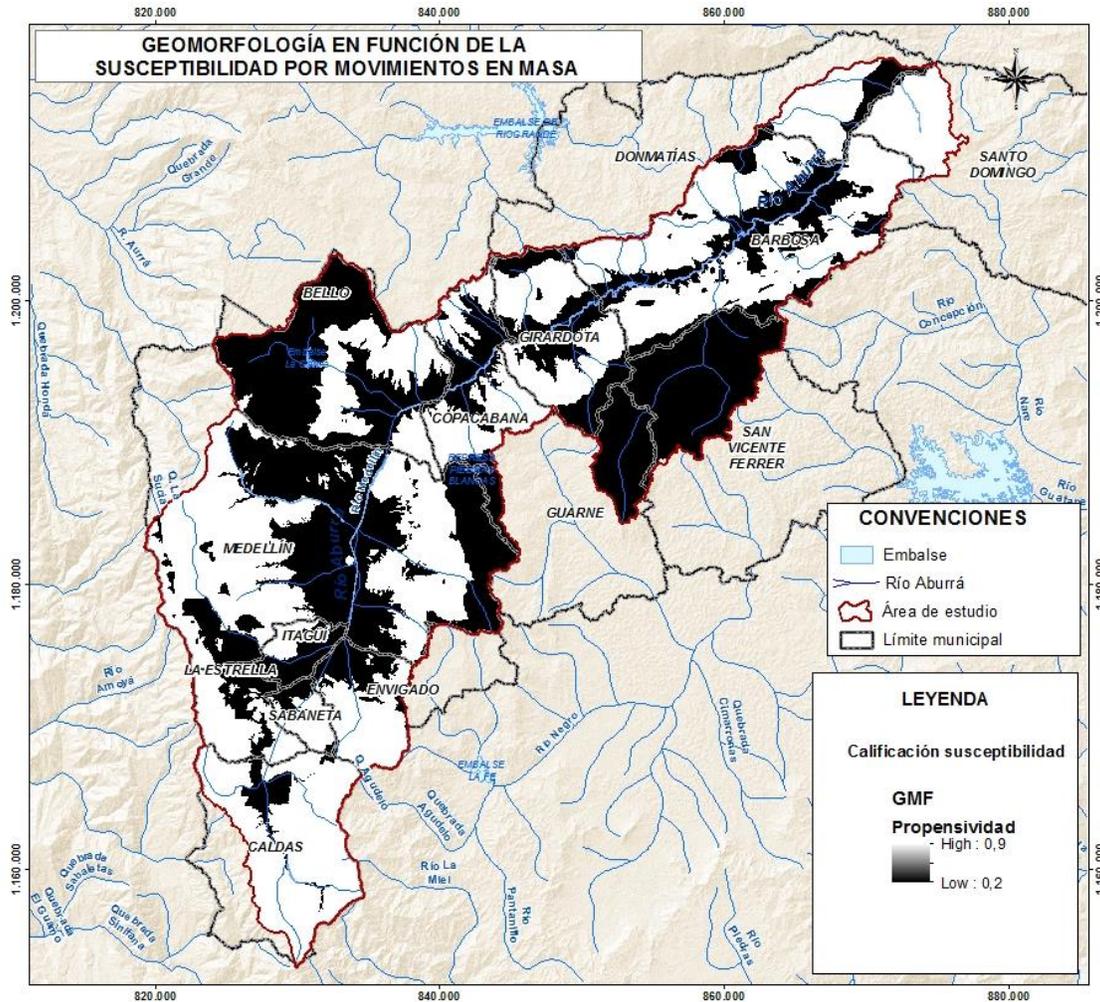
- Formato: vector tipo polígono.
- Fuente: unidades geomorfológicas según Carvajal – Actualización POMCA Aburrá 2016.

TABLA 575. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA

NOMENCLATURA	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CALIFICACIÓN
DAeem	Escarpe de erosión mayor de altiplano	0,7
DAldi	Lomeríos disectados de altiplano	0,6
Dcr	Colina residual	0,7
Dcrs	Cerro residual	0,8
Dct	Cono de talus	0,7
Decrem	Cerro remanente	0,6
Dideal	Lomo denudado alto de longitud larga	0,7
Dideam	Lomo denudado alto de longitud media	0,6
Dlpd	Lomeríos pocos disectados	0,9
Faas	Abanico aluvial sub-reciente	0,6
Fpi	Planicie de inundación	0,2

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 416. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Vegetación y tipo de cobertura (COBERT)**

El tipo de cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la estabilidad del terreno, mediante mecanismos hidrológicos que influyen en la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad del mismo, además de mecanismos mecánicos que generan el aumento de resistencia por la presencia de raíces y la protección frente a la erosión (*Figura 417*). La vegetación puede influir de manera beneficiosa o adversa en la estabilidad de las laderas, dependiendo de cómo actúen dichos mecanismos, por ejemplo, la presencia de raíces aumenta la resistencia del suelo pero al mismo

tiempo la vegetación densa favorece la infiltración del agua de lluvia acercando a los suelos a la saturación.

El área urbanizada produce impermeabilidad en el terreno beneficiando la estabilidad, si se cuenta con buenos sistemas de drenaje superficial y subsuperficial, aunque también aporta peso adicional por sobrecarga de las construcciones en la ladera. Las áreas verdes, cultivos y pastos no favorecen la escorrentía superficial, situación desfavorable frente a la saturación del suelo, el cual es un factor desencadenante de deslizamientos. La *Tabla 576* muestra el peso asignado a cada tipo de cobertura, de acuerdo a su influencia en la susceptibilidad a movimientos en masa.

- Formato: vector tipo polígono.
- Fuente: cobertura CORINE LAND COVER – Actualización POMCA Aburrá 2016.

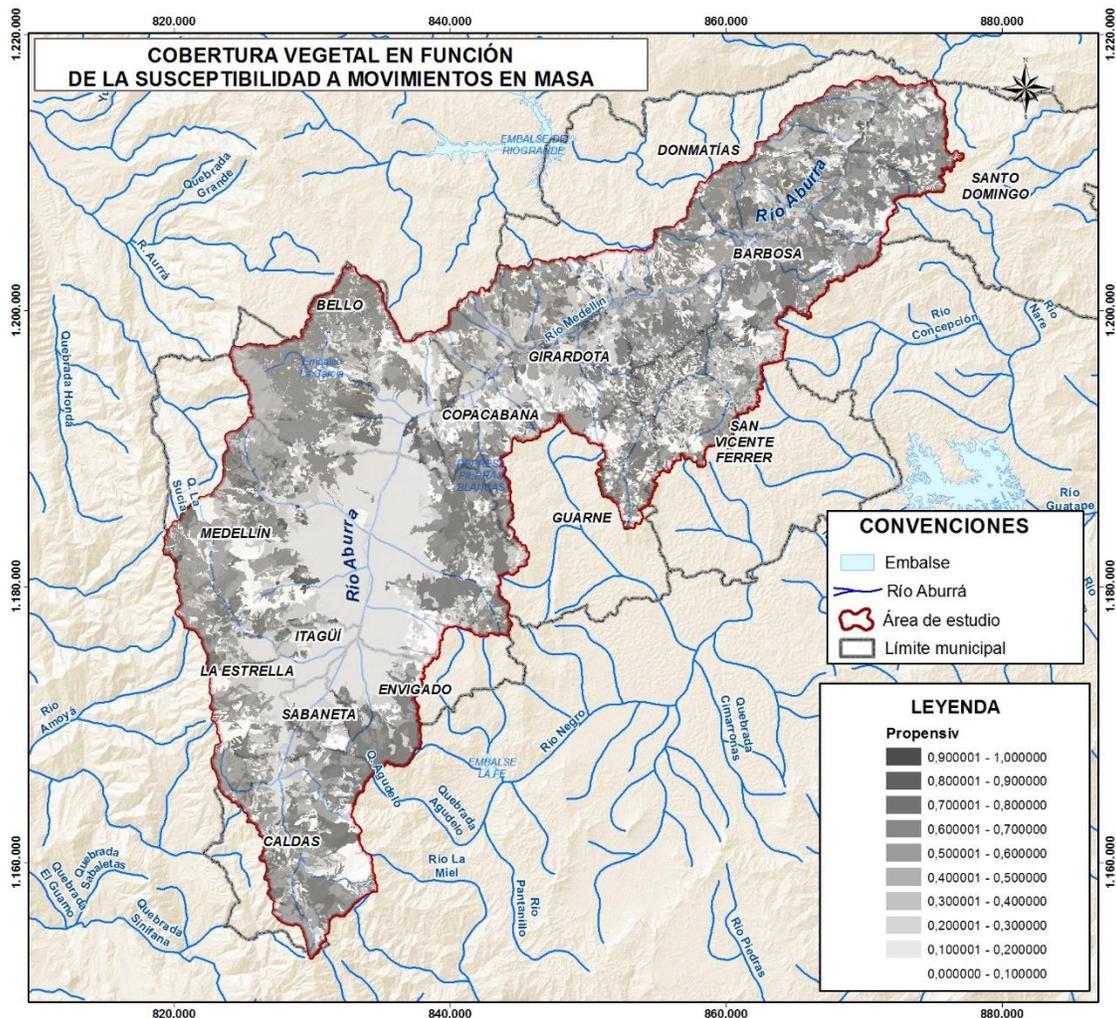
TABLA 576. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE COBERTURA A MOVIMIENTOS EN MASA

COBERTURA	CALIFICACIÓN
Tejido urbano continuo	0,2
Tejido urbano discontinuo	0,3
Zonas industriales o comerciales	0,3
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,8
Zonas de extracción minera	0,8
Zonas de disposición de residuos	0,7
Instalaciones recreativa	0,3
Otros cultivos transitorios	0,5
Cultivos permanentes herbáceos	0,7
Cultivos permanentes arbustivos	0,5
Cultivos permanentes arbóreos	0,6
Cultivos agroforestales	0,5
Cultivos confinados	0,5
Pastos limpios	0,6
Pastos arbolados	0,5

COBERTURA	CALIFICACIÓN
Pastos enmalezados	0,3
Mosaico de cultivos	0,8
Mosaico de pastos y cultivos	0,5
Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	0,7
Mosaico de pastos y espacios naturales	0,7
Mosaico de cultivos y espacios naturales	0,6
Bosque abierto	0,4
Bosque fragmentado	0,6
Bosque de galería y ripario	0,6
Plantación forestal	0,7
Herbazal	0,5
Arbustal	0,5
Vegetación Secundaria	0,3
Zonas arenosas naturales	0,3
Tierras desnudas y degradadas	0,8
Zonas quemadas	0,6
Zonas pantanosas	0,4
Ríos	0
Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,2
Canales	0,3
Cuerpos de agua artificiales	0

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 417. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE COBERTURA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Presencia y espesor de depósitos o Unidad Geológica Superficial (UGS)**

La variación del tipo de material del área de estudio influye en la generación de movimientos en masa ya que la inestabilidad de las laderas depende de sus propiedades geomecánicas, que a su vez dependen del origen, grado de meteorización, ambiente de formación, grado de consolidación natural, densidad, granulometría, plasticidad y humedad. La información de UGS define la presencia o ausencia y profundidad de un depósito de suelo, típicamente se define como variable continua ESPESOR según la profundidad y variable binaria ROC-SUE con valores 1 para celdas, sin depósito

y 2 para celdas donde existe depósito. Los mapas de unidades geológicas superficiales contienen la zonificación por materiales geológicos y a partir de esta se asigna un peso a cada sector en función del tipo de material, origen y espesor, planteando su propensividad en una variable categórica denominada UGS que incluye las dos mencionadas (ROC-SUE y ESPESOR) y elimina la dependencia estadística de las mismas (*Figura 417*).

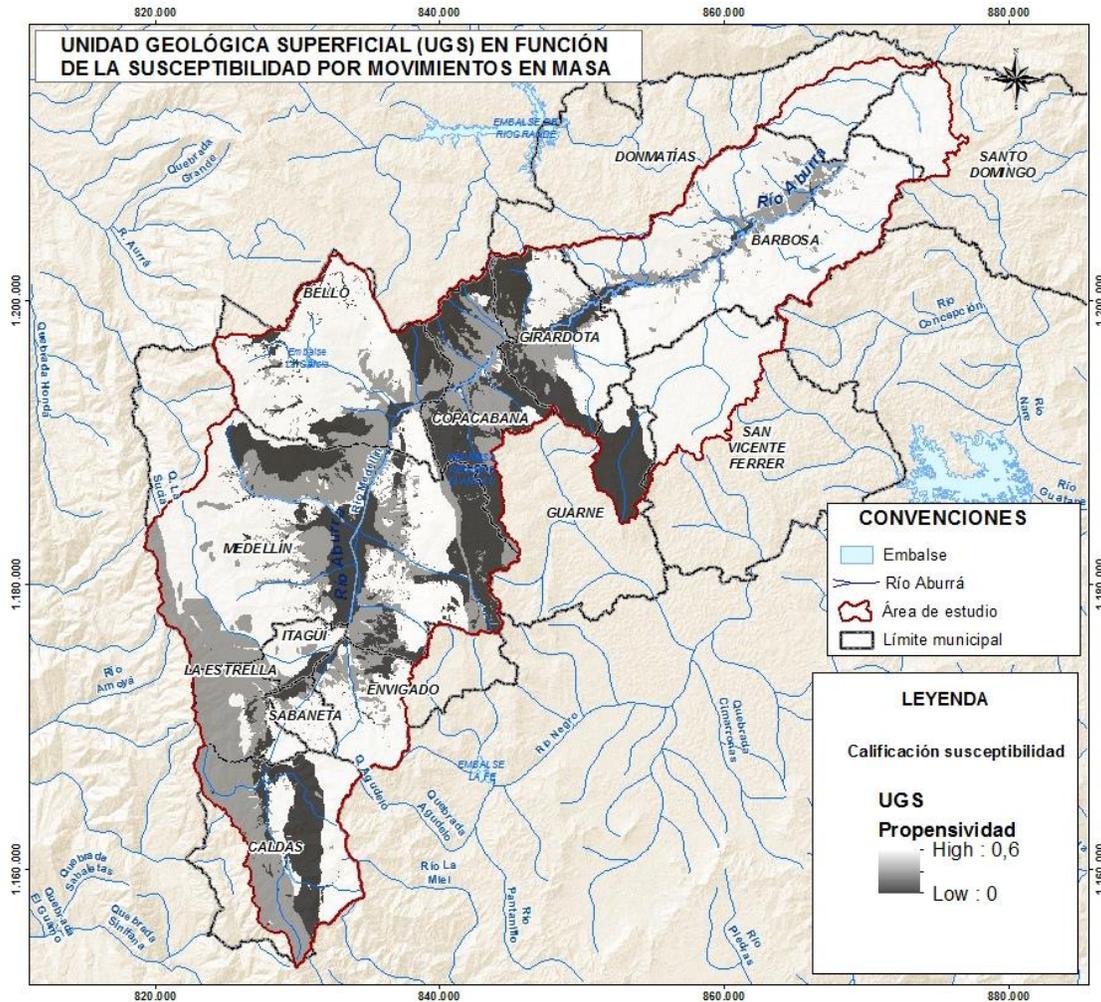
Los mapas de unidades geológicas superficiales contienen la zonificación por materiales geológicos descritas en el capítulo de geología del presente documento (*Documento 2.3. Caracterización Físico – Biótico / 2.3.1. Clima – 2.3.2. Geología*). La *Tabla 577* muestra el peso asignado a cada tipo de unidad geológica superficial de acuerdo a su influencia en la susceptibilidad a movimientos en masa.

TABLA 577. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL A MOVIMIENTOS EN MASA

NOMENCLAT	CALIFICACIÓN
Rio	0
Srii1	0,5
Srii2	0,6
Sriv1	0,4
Srm1	0,5
Srm2	0,4
Srm2a	0,3
Stf1	0,3
Stf5	0,5
Stf6	0,4

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 418. CALIFICACIÓN DE LA PROPENSIVIDAD DEL TIPO DE UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

- Formato: vector tipo polígono.
- Fuente: Unidades Geológicas Superficiales – Actualización POMCA Aburrá 2016.

▪ **Análisis de las variables categóricas**

La ocurrencia de movimientos en masa se ve influenciada por la composición litológica de la roca, la geomorfología, las unidades geológicas superficiales y las coberturas de la tierra, que combinados como factores condicionantes pueden llegar a determinar la ocurrencia de los fenómenos de

inestabilidad. Las unidades de depósitos de flujos de escombros y/o lodos y metamórficas pertenecientes al Gneis Milonítico de Sajonia presentes en los municipios de La Estrella, Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa y la ciudad de Medellín presentan las mayores calificaciones de susceptibilidad, mientras que las unidades de origen fluvial son poco susceptibles a presentar movimientos en masa.

Las unidades geomorfológicas de ambiente estructural y denudacional que presentan la mayor propensividad a movimientos en masa predominan en la cuenca, aun cuando en la ciudad de Medellín se presentan calificaciones bajas correspondiendo a las unidades geomorfológicas de ambiente fluvial y en el costado sureste de la Cuenca. Ambientes antropogénicos relacionados, por ejemplo, con la extracción de materiales, sostienen calificaciones altas de propensividad.

La cobertura vegetal tipo bosque disminuye la propensividad en las áreas de lomeríos y lomos, en las áreas desprovistas de vegetación o coberturas de pastos y cultivos, la propensividad no es muy marcada, de manera que hay ciertas zonas en que se muestra alguna afectación como sucede con los cultivos herbáceos y otras zonas que no afectan ni aportan. Los tejidos urbanos son propensos a movimientos en masa por la existencia de cortes en el terreno, pero estos son de pequeña magnitud y no se consideran en la escala de análisis, por lo cual se mantienen como poco propensos a la generación de grandes movimientos en masa; en contraste, los cortes en vías y canteras sí resultan relevantes, de manera que las coberturas relacionadas con estas califican con propensividad alta.

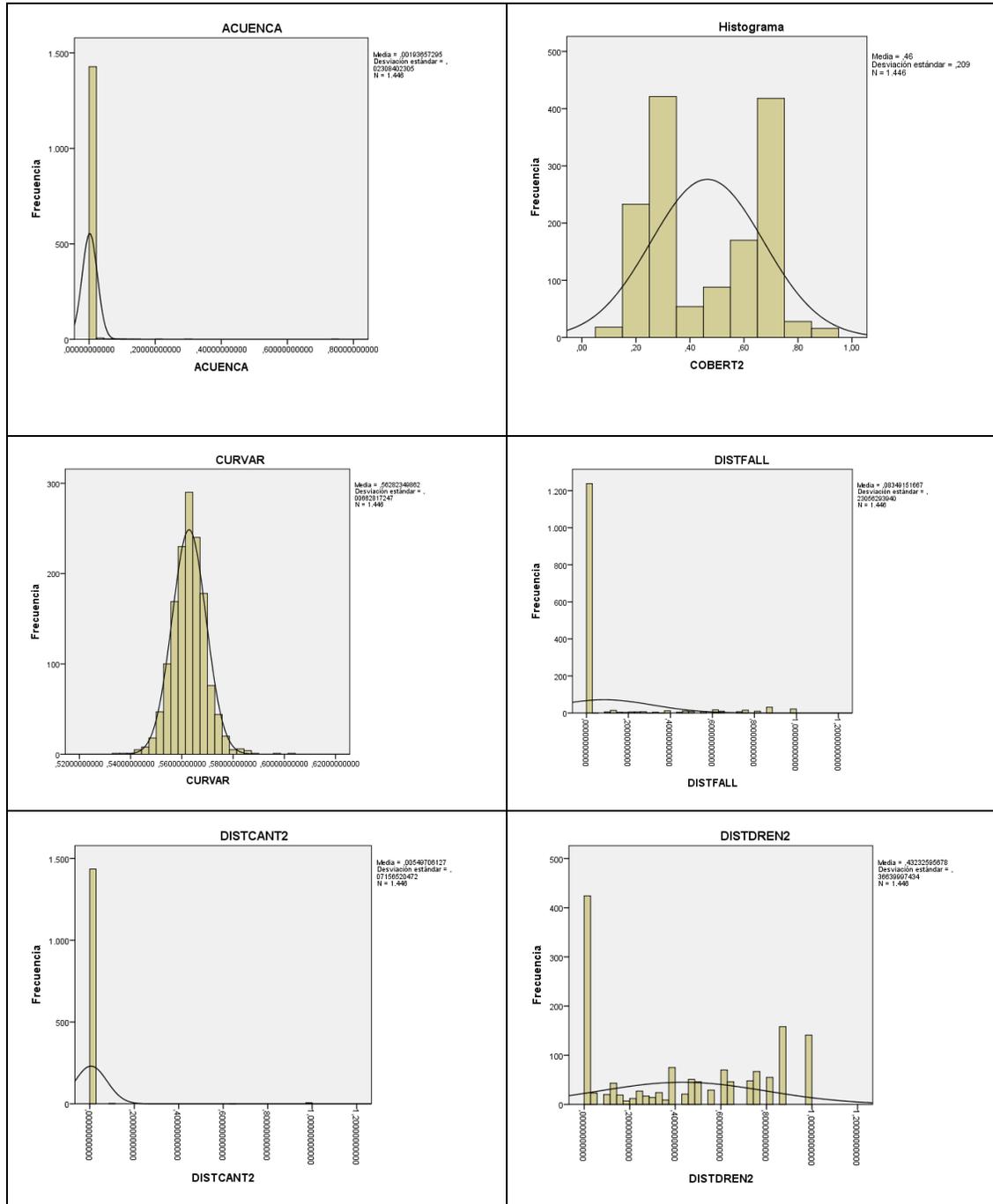
2.7.7.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa

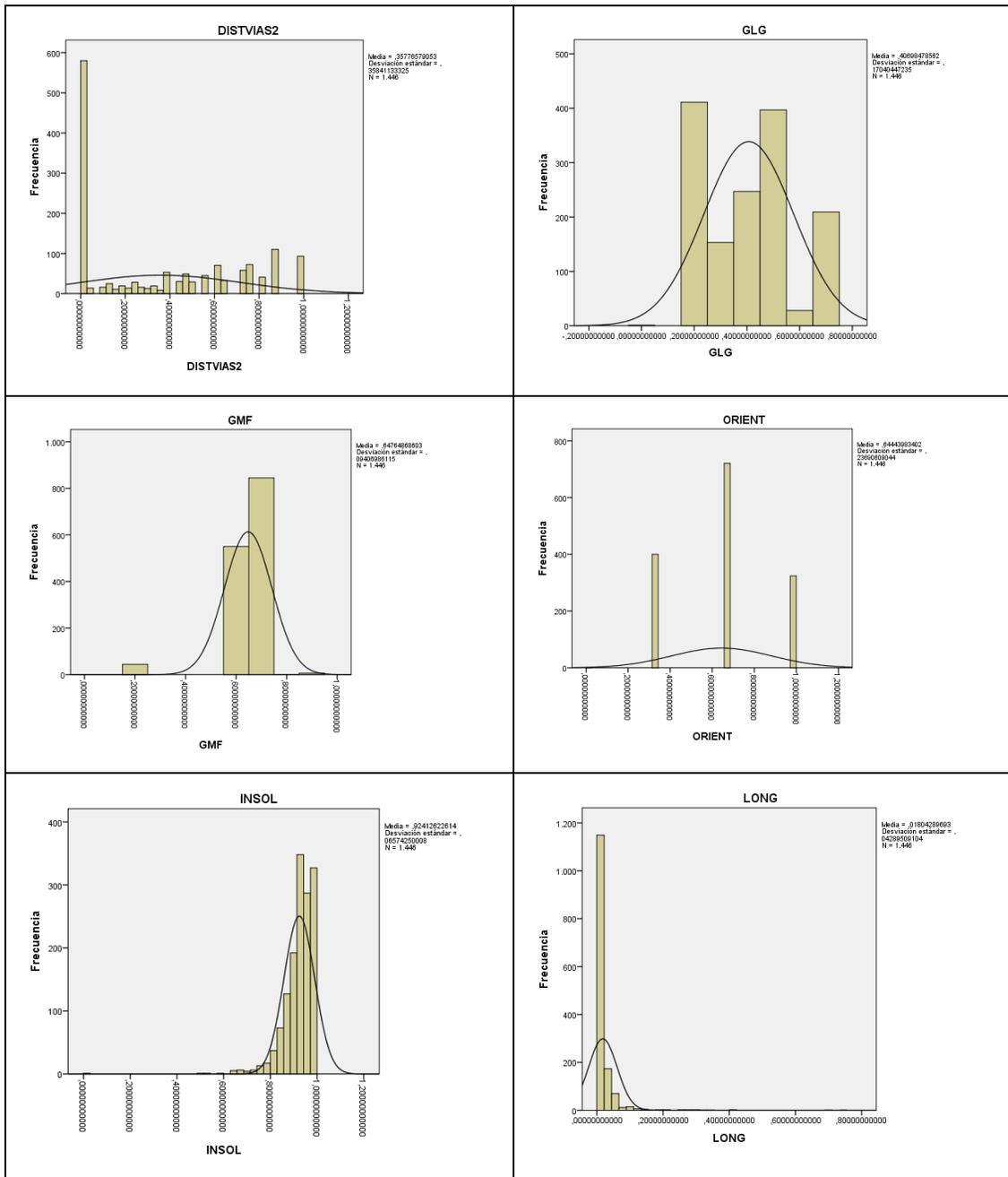
2.7.7.3.1. Análisis estadístico de la función discriminante para obtener susceptibilidad a movimientos en masa

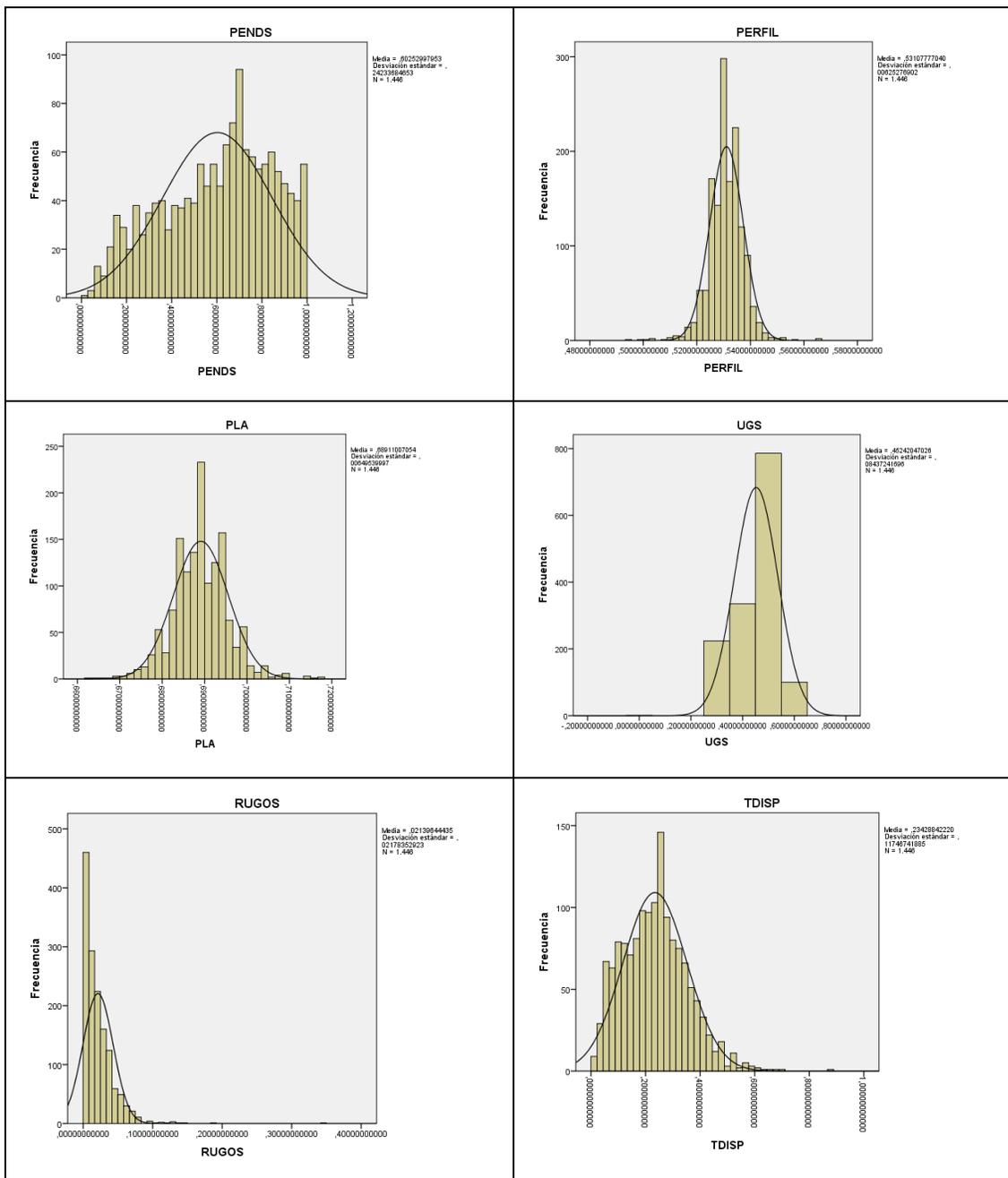
Inicialmente es necesario realizar pruebas estadísticas para conocer la distribución que tiene cada variable y validar si siguen una distribución normal para definir la pertinencia de su utilización dentro del modelo. Entre las diferentes pruebas que analizan el ajuste a una distribución normal, se ha seleccionado el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S). El test K-S permite conocer la bondad del ajuste mediante el contraste entre la función de distribución acumulada empírica de la variable y la distribución acumulada teórica normal. Para ello utiliza la media y la desviación estándar de la muestra.

Las distribuciones y prueba K-S se indican a continuación (Tabla 578, Figura 419 y Tabla 579).

FIGURA 419. HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA DE LA FUNCIÓN
 DISCRIMINANTE







FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 578. PRUEBA 1 KOLMOGOROV – SMINORV

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		UGS	COBERT	CURVAR	DISTCANT2	DISTDREN	DISTDREN2	DISTFALL	DISTVIAS	DISTVIAS2
N		1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446
Parámetros normales	Media	,452	,463	,563	,005	,171	,432	,083	,112	,358
	DvStandar	,084	,202	,007	,072	,319	,366	,231	,262	,358
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,326	,266	,101	,522	,414	,162	,495	,464	,232
	Positivo	,217	,266	,100	,522	,414	,162	,495	,464	,232
	Negativo	-,326	-,192	-,101	-,469	-,296	-,119	-,359	-,334	-,159
Estadístico de prueba		,326	,266	,101	,522	,414	,162	,495	,464	,232
Sig. asintótica (bilateral)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 579. PRUEBA 2 KOLMOGOROV – SMINORV

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		GLG	GMF	INSOL	LONG	ORIENT	PENDS	PERFIL	PLA	RUGOS	TDISP
N		1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446	1446
Parámetros normales	Media	,407	,648	,924	,018	,644	,603	,531	,689	,021	,234
	DvStandar	,170	,094	,066	,043	,237	,242	,006	,006	,022	,117
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,173	,300	,139	,337	,250	,072	,050	,062	,164	,033
	Positivo	,173	,284	,139	,261	,250	,050	,049	,062	,117	,033
	Negativo	-,146	-,300	-,129	-,337	-,249	-,072	-,050	-,044	-,164	-,033
Estadístico de prueba		,173	,300	,139	,337	,250	,072	,050	,062	,164	,033
Sig. asintótica (bilateral)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Si bien es cierto que las variables no siguen estrictamente una distribución normal, estas al transformarlas en busca de una mejor distribución pierden información relevante para el modelo y

continúan sin sostener un ajuste en distribución normal, lo que redundaría en una efectividad menor de la función discriminante. Por lo tanto, se opta por realizar el análisis discriminante de variables con su distribución original para finalmente normalizar los resultados y representar la susceptibilidad ya sea buscando una transformación de los resultados o ajustando los rangos de clasificación buscando una distribución adecuada de los mismos.

Otra prueba realizada fue la de dependencia entre variables, con lo que se realizó un análisis factorial para determinar la siguiente matriz de correlación (*Tabla 580*):

TABLA 580. MATRIZ DE CORRELACIÓN

CORRELACIÓN	UGS	COBERT2	CURVAR	DISTCAN2	DISTDREN2	DISTFALL	DISTVIAS2	GLG	GMF	INSOL	LONG	ORIENT	PENDS	PERFIL	PLA	RUGOS	TDISP
UGS	1,00	0,02	0,00	0,08	0,02	0,01	0,03	0,34	0,32	0,18	0,05	0,04	0,24	0,02	0,02	0,14	0,21
COBERT2	0,03	1,00	0,01	0,11	0,12	0,02	0,06	0,22	0,10	0,08	0,01	0,02	0,09	0,01	0,01	0,09	0,09
CURVAR	0,00	0,01	1,00	0,03	0,15	0,06	0,07	0,01	0,04	0,01	0,21	0,02	0,02	0,87	0,84	0,03	0,02
DISTCAN T2	0,08	0,10	0,03	1,00	0,01	0,03	0,01	0,07	0,22	0,01	0,00	0,01	0,06	0,00	0,06	0,03	0,04
DISTDRE N	0,01	0,06	0,10	0,02	0,72	0,03	0,05	0,03	0,05	0,06	0,17	0,05	0,08	0,05	0,12	0,04	0,08
DISTDRE N2	0,02	0,13	0,15	0,01	1,00	0,06	0,05	0,08	0,08	0,05	0,18	0,02	0,03	0,09	0,16	0,07	0,05
DISTFALL	0,01	0,03	0,06	0,03	0,06	1,00	0,06	0,00	0,10	0,03	0,04	0,07	0,04	0,07	0,03	0,02	0,02
DISTVIAS	0,02	0,06	0,02	0,01	0,03	0,06	0,61	0,05	0,04	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,04	0,03	0,02
DISTVIAS 2	0,03	0,08	0,07	0,01	0,05	0,06	1,00	0,06	0,02	0,07	0,03	0,07	0,06	0,06	0,07	0,11	0,07
GLG	0,34	0,24	0,01	0,07	0,08	0,00	0,06	1,00	0,01	0,14	0,01	0,04	0,14	0,01	0,01	0,13	0,14
GMF	0,32	0,08	0,04	0,22	0,08	0,10	0,02	0,01	1,00	0,29	0,06	0,02	0,40	0,06	0,01	0,32	0,36
INSOL	0,18	0,05	0,01	0,01	0,05	0,03	0,07	0,14	0,29	1,00	0,01	0,02	0,75	0,02	0,01	0,69	0,85
LONG	0,05	0,08	0,21	0,00	0,18	0,04	0,03	0,01	0,06	0,01	1,00	0,01	0,01	0,08	0,28	0,04	0,02

CORRELACIÓN	UGS	COBERT2	CURVAR	DISTCANT2	DISTDREN2	DISTFALL	DISTVIAS2	GLG	GMF	INSOL	LONG	ORIENT	PENDS	PERFIL	PLA	RUGOS	TDISP
ORIENT	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,07	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	1,00	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00
PENDS	0,24	0,08	0,02	0,06	0,03	0,04	0,06	0,14	0,40	0,75	0,01	0,01	1,00	0,02	0,02	0,64	0,96
PERFIL	0,02	0,08	0,87	0,00	0,09	0,07	0,06	0,01	0,06	0,02	0,08	0,00	0,02	1,00	0,47	0,03	0,01
PLA	0,02	0,05	0,84	0,06	0,16	0,03	0,07	0,01	0,01	0,01	0,28	0,04	0,02	0,47	1,00	0,02	0,02
RUGOS	0,14	0,07	0,03	0,03	0,07	0,02	0,11	0,13	0,32	0,69	0,04	0,02	0,64	0,03	0,02	1,00	0,74
TDISP	0,21	0,06	0,02	0,04	0,05	0,02	0,07	0,14	0,36	0,85	0,02	0,00	0,96	0,01	0,02	0,74	1,00

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

La mayor correlación se observa entre la pendiente de la ladera (TDISP) y las variables insolación y pendiente senoidal y entre la curvatura del terreno y las curvaturas del terreno respecto al perfil y al plano horizontal. Del anterior análisis se realiza descarte de factores por dependencia de variables (Análisis factorial, pruebas T y ANOVA) como se observa en la *Tabla 581*:

TABLA 581. PRUEBA ANOVA

VARIABLE		SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
CURVAR	Entre grupos	,000	1	,000	,648	,421
	Dentro de grupos	,063	1444	,000		
	Total	,063	1445			
PERFIL	Entre grupos	,000	1	,000	,583	,445
	Dentro de grupos	,056	1444	,000		
	Total	,056	1445			
PLA	Entre grupos	,000	1	,000	,369	,543
	Dentro de grupos	,061	1444	,000		
	Total	,061	1445			

VARIABLE		SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
INSOL	Entre grupos	2,161	1	2,161	764,021	,000
	Dentro de grupos	4,084	1444	,003		
	Total	6,245	1445			
PENDS	Entre grupos	48,651	1	48,651	1940,139	,000
	Dentro de grupos	36,210	1444	,025		
	Total	84,861	1445			
RUGOS	Entre grupos	,186	1	,186	538,784	,000
	Dentro de grupos	,499	1444	,000		
	Total	,686	1445			
TDISP	Entre grupos	10,695	1	10,695	1670,759	,000
	Dentro de grupos	9,244	1444	,006		
	Total	19,939	1445			

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Finalmente, realizadas las pruebas estadísticas que aportan a los criterios de descarte de variables, se realiza el análisis discriminante tantas veces como sea posible para obtener la función discriminante que mejor ajuste tiene. Inicialmente se realiza un descarte de variables que por el criterio del evaluador no representan mayor relevancia o porque su distribución estadística es altamente sesgada y se realizan clasificaciones discriminantes, combinando adecuadamente las variables como se muestra a continuación:

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S): ACUENCA.

Se conservan todas las demás variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Variables con correlación por análisis factorial:

INSOL/TDISP/PENDS, PERFIL/PLA/CURVAR y LONG/ACUENCA.

Variables más discriminantes prueba T: PENDS, PERFIL y LONG

Variables más discriminantes prueba ANOVA: PENDS, CURVAR

Coefficientes de función discriminante 1 (PENDS, PERFIL y LONG por pasos):

UGS	1,369
DISTFALL	-,344
DISTVIAS2	-,283
GLG	,613
PENDS	6,264

Resultados de clasificación: 85,0% de casos agrupados correctamente.

Coefficientes de función discriminante 2 (mayor número de factores, PENDS, PERFIL independientes):

UGS	1,359	GMF	,108
DISTCANT2	,655	LONG	-,085
DISTDREN2	-,071	ORIENT	-,171
DISTFALL	-,321	PENDS	6,273
DISTVIAS2	-,286	COBERT2	-,251
GLG	,566	PERFIL	-1,333

Resultados de clasificación: 85,5% de casos agrupados correctamente.

Coefficientes de función discriminante 3 (INV_INSOL y CURVAR por pasos):

UGS	2,127	GMF	2,995
DISTCANT2	,296	LONG	-,386
DISTDREN2	-,098	ORIENT	-,182
DISTFALL	-,345	COBERT2	-,148
DISTVIAS2	-,373	CURVAR	6,201
GLG	,337	INV_INSOL	16,705

Resultados de clasificación: 84,0% de casos agrupados correctamente.

Coefficientes de función discriminante 4 (INV_INSOL y CURVAR por pasos):

UGS	1,869
DISTFALL	-,381
DISTVIAS2	-,370
GMF	2,980
INV_INSOL	16,671

Resultados de clasificación: 83,4% de casos agrupados correctamente.

Coefficientes de función discriminante 5 (factores discriminantes independientes juntos):

UGS	1,742	DISTDREN2	-,007
DISTCANT2	,362	DISTFALL	-,242

<i>DISTVIAS2</i>	-,252	<i>ORIENT</i>	-,258
<i>GLG</i>	,585	<i>COBERT2</i>	-,264
<i>GMF</i>	,802	<i>CURVAR</i>	2,394
<i>LONG</i>	,060	<i>TDISP</i>	12,150

Resultados de clasificación: 86,9% de casos agrupados correctamente.

Los resultados de las funciones de susceptibilidad que mejor se ajustan son sometidos a análisis de cada discriminante en cuanto a clasificación correcta de deslizamientos (sensibilidad), de zonas estables (rendimiento) y al total de ajuste del modelo (precisión) para definir el mejor resultado. Se observa que las funciones número dos y cinco son las que mejor precisión tienen y al tiempo representan adecuadamente el territorio, por lo que se opta por generar el modelo de susceptibilidad con la combinación de las funciones mencionadas, es decir, las número dos y cinco, pues en combinación logran una buena clasificación de la muestra y se les da importancia a las variables que se consideran más relevantes en la existencia de movimientos en masa en las zonas de ladera del Valle de Aburrá.

2.7.7.3.2. *Análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa*

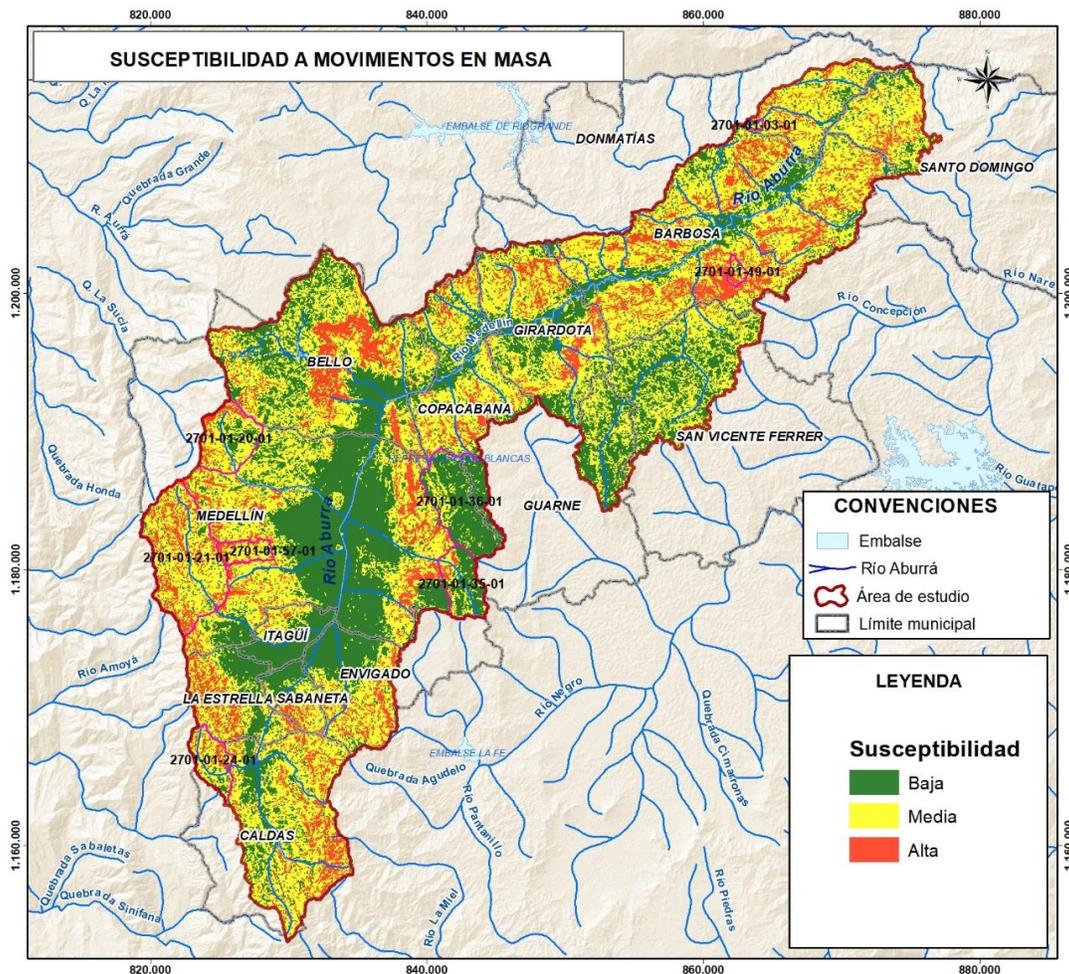
A partir de la ponderación, calificación y categorización de las variables antes descritas y analizadas, se elabora el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa, donde se identifican los sectores con baja, media y alta susceptibilidad para este tipo de eventos, los cuales se encuentran representados en la *Figura 420*. El resultado se obtiene con el promedio de las dos funciones discriminantes seleccionadas, el cual al ser estadístico se clasifica según los intervalos naturales que presenta (*Anexos Diagnóstico / Anexo11 Caract Riesgos / 6Escenarios*).

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por la morfología del relieve, en especial por la pendiente y la rugosidad de la ladera, seguido de las unidades geológicas superficiales y las coberturas de la tierra. Por esta razón, se observan valores altos de susceptibilidad (aproximadamente 15% del área, correspondiente a 18.506 ha) en sectores donde predominan las pendientes altas, con algunas variaciones según las otras variables mencionadas.

Por su parte, sectores aledaños a los municipios de San Vicente y el casco urbano de la ciudad de Medellín alcanzan una susceptibilidad baja (aproximadamente un 35% de la cuenca, que corresponde con 41.813 ha) principalmente por los bajos contrastes morfométricos de estas zona asociados a bajas pendientes y a la llanura aluvial del río Aburrá.

Para el resto de la cuenca se estima una susceptibilidad media (aproximadamente el 50% del área correspondiente a 60.402 ha). En general, en la cuenca se observa una gran tendencia a susceptibilidad media, exceptuando en los límites sureste y al centro de la misma.

FIGURA 420. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA



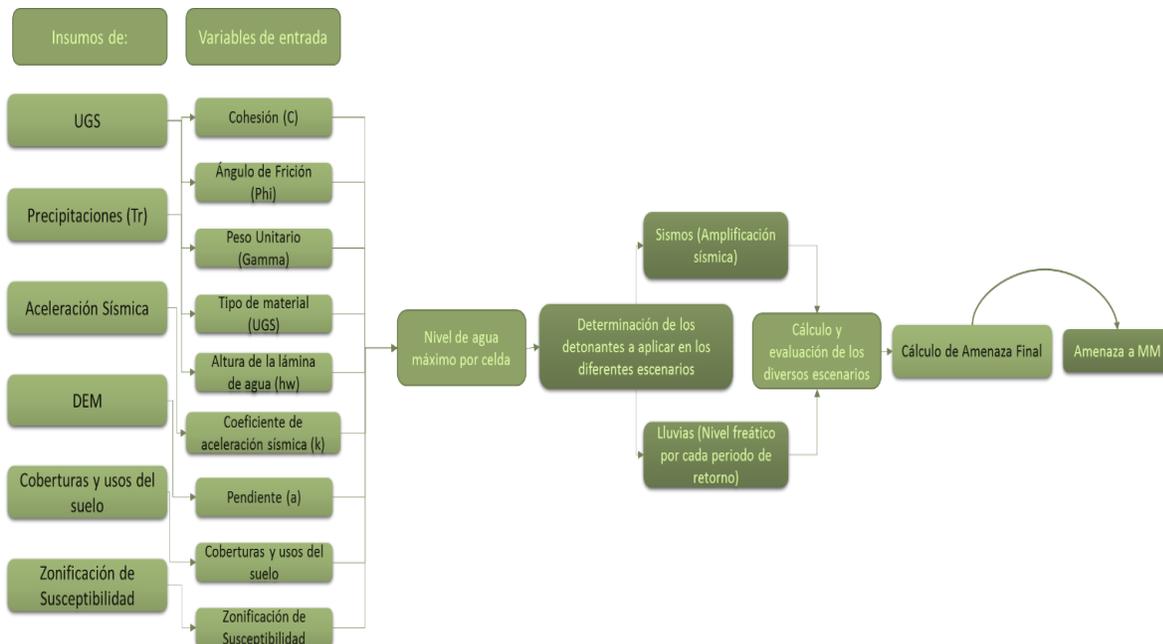
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

La actividad antrópica, si bien propicia la desestabilización en zonas cercanas a canteras, vías y áreas de pastoreo, es una variable secundaria en esta escala de análisis donde predominan los factores naturales, dentro de las cuales se incluyen las coberturas como variable socionatural, evidenciándose algunas diferencias en los resultados de susceptibilidad según la distribución de la vegetación (pastos limpios, pastizales y vegetación con raíces pequeñas) que generalmente se relacionan con la disminución de la estabilidad del terreno.

2.7.7.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa

Dentro de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se tuvo en cuenta el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas hidrográficas (MADS, MINHACIENDA, Fondo Adaptación, 2014), el cual sugiere un procedimiento determinístico y la valoración de diversos escenarios con presencia de agua y sismo en diferentes periodos de retorno. En la *Figura 421* se describe metodológicamente la obtención de la amenaza por movimientos en masa.

FIGURA 421. ESTRUCTURA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

A partir de la cartografía base de geología y geomorfología (Anexo Cartográfico Aburra), así como de los resultados del programa de exploración del suelo y ensayos de laboratorio realizados como parte de la actualización del POMCA (Anexos Diagnostico / Anexo8 Caract FísicoBiótica / 2Geología Geomorfología / 5Laboratorios) se planteó el modelo geológico y geotécnico.

Para esto, se llevó a cabo el cruce espacial de los puntos de control de campo geológico y de suelos para estimar los parámetros de comportamiento mecánico, en el caso de las unidades geotécnicas que coinciden con al menos uno de los mismos. Los parámetros de resistencia se asignaron en este caso considerando los resultados de laboratorio, los ensayos y parámetros que dan cuenta del comportamiento geomecánico en otros estudios precedentes, ya indicados en los apartes de información antecedente. Posteriormente, se tuvo en cuenta la determinación de los detonantes de niveles freáticos y la aceleración sísmica a aplicar para diferentes escenarios.

Una vez definidos los parámetros geotécnicos, se debe tener en cuenta la determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios (niveles freáticos y aceleración sísmica). Para considerar la condición de sismicidad se incluyó el efecto de la carga sísmica, como una fuerza inercial horizontal a partir del coeficiente de aceleración horizontal en análisis de equilibrio límite pseudoestático. Se partió de los valores regionales de amenaza según el estudio de Amenaza Sísmica Nacional publicado por el Servicio Geológico Colombiano en 2017 y se corroboraron en las zonas de piedemonte con el estudio de microzonificación sísmica de Medellín, para posteriormente aplicar efecto topográfico de amplificación y deamplificación de la aceleración sísmica empleando los principios de Jibson (1987), Faccioli (1991) y la AFPS (1995).

Para la evaluación del nivel freático, se plantea la hipótesis en la que este se encuentra en la superficie de falla y varía según el régimen de lluvias de cada píxel. El análisis de lluvia considera el concepto de una proporción de esta que cae al suelo y se infiltra, otro porcentaje queda detenido en la vegetación y en depresiones del suelo, mientras se evapora y otro fluye como escorrentía directa. Frente a la dificultad para obtener información primaria de precipitaciones, se estimaron los valores acumulados de lluvia con la precipitación diaria multianual y se evaluó la saturación provocada por esta. A partir de esto, se calcula una condición saturada, parcialmente saturada y seca en lugar de variaciones de nivel freático por periodos de retorno, logrando seis escenarios de evaluación en distintas variaciones de profundidad de falla.

Para estimar dicha fracción de agua infiltrada, la Guía Técnica sugiere usar el método Alzate (2012) y Torres et al., (2014) que plantea una ecuación empírica en función de los factores que influyen en el proceso de infiltración. Sin embargo, dicha ecuación empírica sugiere el término de precipitación ponderada en el denominador como sumando, lo que puede llegar a indicar menores niveles freáticos con mayores precipitaciones. Por lo anterior, se amplió el análisis con el método lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del U. S. Department of Agriculture, el cual muy frecuentemente se utiliza para estimar cantidad de agua proveniente de una tormenta (P) que se convierte en escorrentía directa (P_e), pero que para este caso se estimó el complemento, esto es, el resto de la lluvia que no se convierte en escorrentía directa sino que se infiltra, es decir, ($P_i = P - P_e$).

El método del SCS propone la estimación del Número de Curva (CN) en función de la cobertura y uso del suelo y un potencial de retención, que se compara con las precipitaciones para obtener los valores de infiltración posibles según la cobertura y uso del suelo.

Finalmente, luego de definir los factores condicionantes en función de las características y propiedades geomecánicas de los materiales y los factores detonantes a partir de la información de amenaza sísmica y precipitaciones, se procede a la definición de la amenaza por movimientos en masa. Para la zonificación básica de amenaza se determinó el factor de seguridad de cada unidad de trabajo (píxel 12,5 m) definida por la malla y las columnas de suelo obtenidas.

El cálculo de la condición de estabilidad se basa en el método de equilibrio límite, aplicando la ecuación de factor de seguridad para el método de bloque deslizante en un talud infinito (Newmark, 1965), para superficies de falla superficiales planas asociadas a deslizamientos traslacionales en cada una de las celdas de trabajo. La ecuación de factor de seguridad se expresa de la siguiente manera:

$$FS = \frac{c' b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma_w h_w b \cos^2 \alpha) \tan \Phi'}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha}$$

Donde,

c es la cohesión del material

α Es la pendiente del terreno

k es el coeficiente de amplificación sísmica

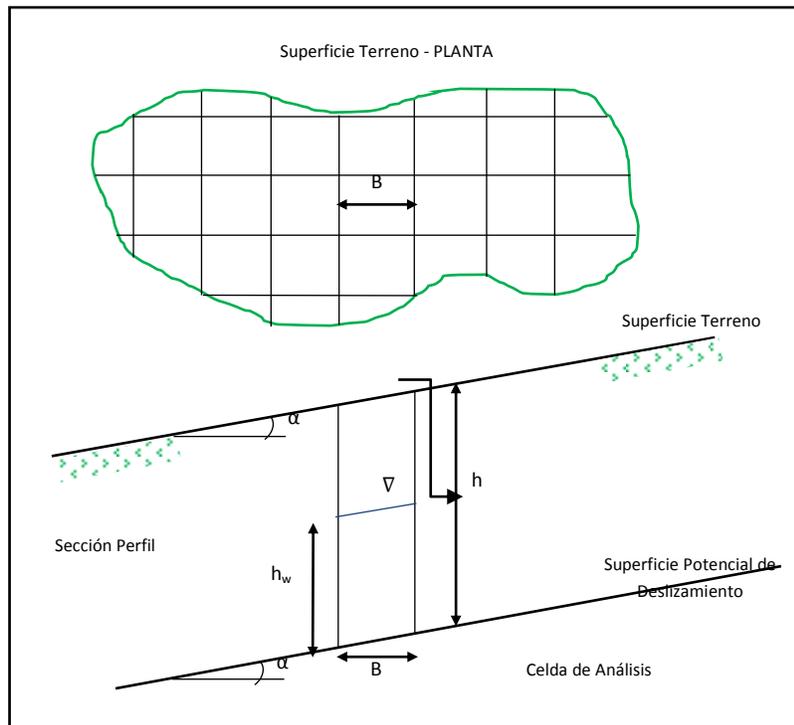
h_w es el valor de la tabla de agua

ϕ' Es el ángulo de fricción del material

γ Gamma es el peso unitario del material.

En la *Figura 422* se ilustran los parámetros geométricos indicados. El factor de seguridad se debe calcular en al menos diez escenarios que corresponden con los parámetros, considerando la profundidad de suelo según las interfaces suelo-roca con ausencia y presencia de agua, como detonante modificado por las precipitaciones con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años y presencia o ausencia de sismo con periodo de retorno de 475 años (*Tabla 582*).

FIGURA 422. ESQUEMA DEL MODELO DE TALUD INFINITO



FUENTE: (SGC, 2015)

TABLA 582. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE FACTOR DE SEGURIDAD

ESCENARIO	NOMENCLATURA	PRESENCIA DE SISMO	PRESENCIA DE AGUA* (m)	PROFUNDIDAD MEDIA DE FALLA (m)
Escenario 1: Seco con sismo	2mk	Sí	No	2m
	3mk	Sí	No	3m
	4mk	Sí	No	4m
	5mk	Sí	No	5m
	6mk	Sí	No	6m
Escenario 2: Seco sin sismo	2m	No	No	2m
	3m	No	No	3m
	4m	No	No	4m
	5m	No	No	5m
	6m	No	No	6m
Escenario 3: Precipitación 2 con sismo	2mhw2k	Sí	hw2	2m
	2mhw5k	Sí	hw5	2m
	3mhw2k	Sí	hw2	3m
	3mhw5k	Sí	hw5	3m
	4mhw2k	Sí	hw2	4m
	4mhw5k	Sí	hw5	4m
	5mhw2k	Sí	hw2	5m
	5mhw5k	Sí	hw5	5m
	6mhw2k	Sí	hw2	6m
	6mhw5k	Sí	hw5	6m
Escenario 4: Precipitación 2 sin sismo	2mhw2	No	hw2	2m
	2mhw5	No	hw5	2m
	3mhw2	No	hw2	3m
	3mhw5	No	hw5	3m
	4mhw2	No	hw2	4m

ESCENARIO	NOMENCLATURA	PRESENCIA DE SISMO	PRESENCIA DE AGUA* (m)	PROFUNDIDAD MEDIA DE FALLA (m)
	4mhw5	No	hw5	4m
	5mhw2	No	hw2	5m
	5mhw5	No	hw5	5m
	6mhw2	No	hw2	6m
	6mhw5	No	hw5	6m
Escenario 5: Precipitación 20 con sismo	2mhw10k	Sí	hw10	2m
	2mhw20k	Sí	hw20	2m
	3mhw10k	Sí	hw10	3m
	3mhw20k	Sí	hw20	3m
	4mhw10k	Sí	hw10	4m
	4mhw20k	Sí	hw20	4m
	5mhw10k	Sí	hw10	5m
	5mhw20k	Sí	hw20	5m
	6mhw10k	Sí	hw10	6m
	6mhw20k	Sí	hw20	6m
Escenario 6: Precipitación 20 sin sismo	2mhw10	No	hw10	2m
	2mhw20	No	hw20	2m
	3mhw10	No	hw10	3m
	3mhw20	No	hw20	3m
	4mhw10	No	hw10	4m
	4mhw20	No	hw20	4m
	5mhw10	No	hw10	5m
	5mhw20	No	hw20	5m
	6mhw10	No	hw10	6m
	6mhw20	No	hw20	6m
Escenario 7:	2mhw50k	Sí	hw50	2m

ESCENARIO	NOMENCLATURA	PRESENCIA DE SISMO	PRESENCIA DE AGUA* (m)	PROFUNDIDAD MEDIA DE FALLA (m)
Precipitación 50 con sismo	3mhw50k	Sí	hw50	3m
	4mhw50k	Sí	hw50	4m
	5mhw50k	Sí	hw50	5m
	6mhw50k	Sí	hw50	6m
Escenario 8: Precipitación 50 sin sismo	2mhw50	No	hw50	2m
	3mhw50	No	hw50	3m
	4mhw50	No	hw50	4m
	5mhw50	No	hw50	5m
	6mhw50	No	hw50	6m
Escenario 9: Precipitación 100 con sismo	2m1_5mk	Sí	1.5m	2m
	2mhw100k	Sí	hw100	2m
	3m2mk	Sí	2m	3m
	3mhw100k	Sí	hw100	3m
	4m3mk	Sí	3m	4m
	4mhw100k	Sí	hw100	4m
	5m4mk	Sí	4m	5m
	5mhw100k	Sí	hw100	5m
	6m5mk	Sí	5m	6m
	6mhw100k	Sí	hw100	6m
Escenario 10: Precipitación 100 sin sismo	2m1_5m	No	1.5m	2m
	2mhw100	No	hw100	2m
	3m2m	No	2m	3m
	3mhw100	No	hw100	3m
	4m3m	No	3m	4m
	4mhw100	No	hw100	4m
	5m4m	No	4m	5m

ESCENARIO	NOMENCLATURA	PRESENCIA DE SISMO	PRESENCIA DE AGUA* (m)	PROFUNDIDAD MEDIA DE FALLA (m)
	5mhw100	No	hw100	5m
	6m5m	No	5m	6m
	6mhw100	No	hw100	6m

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Los espesores de materiales que pueden fallar mediante mecanismo traslacional superficial pueden variar entre los 2 y los 11 metros, la cuenca presenta cambios morfométricos importantes en toda su área que indican variaciones espaciales importantes de espesores. Los suelos tienen un espesor medio cercano a los 6 metros, por lo cual se evalúa un promedio de contacto suelo-roca para el cálculo de los diez escenarios mínimos requeridos y se incluyen más profundidades de falla posibles en función de los espesores encontrados. El resultado final es el cálculo del factor de seguridad en cada celda o píxel para 80 distintas posibilidades de ocurrencia de falla dentro de 10 escenarios, que relacionan variaciones de nivel freático, presencia de aceleración sísmica, distintas profundidades de falla y condición media a desfavorable de parámetros geomecánicos por la presencia de materiales por encima de la superficie de falla.

Las evaluaciones de los escenarios mencionadas se encuentran completas en los Anexos Diagnóstico / Anexo11 Caract Riesgos/ 6Escenarios. En este anexo se incluye la cartografía de los diez escenarios de amenaza y riesgo con su respectiva salida cartográfica en formato JPEG para su consulta editable desde software GIS u observación simple en formato imagen.

La condición de amenaza puede ser representada en el Factor de Seguridad siempre que se clasifique en los rangos o clases mostradas en la Tabla 583. Sin embargo, las evaluaciones de riesgo por movimientos en masa conviene desarrollarlas sobre una condición general de amenaza y no sobre escenarios particulares, de manera que no se debe expresar en términos de factor de seguridad para un escenario seleccionado sino en función de la combinación de todos los escenarios posibles. La evaluación de un número mayor de opciones posibles contempla la inclusión de un número mayor de posibilidades de falla (siendo esta siempre acotada por el método de evaluación), para representar los resultados en términos de probabilidad de falla, la cual se calculó en cada celda o píxel considerando la media aritmética, varianza y desviación estándar y se clasificó con los rangos que se presentan en la Tabla 584, siendo estos últimos los definitivos para la zonificación de amenaza por movimientos en masa.

TABLA 583. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN 3 CLASES

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	COLOR EN EL MAPA
Alta	<1.2	Rojo
Media	1.2 - 1.5	Amarillo
Baja	>1.5	Verde

FUENTE: SGC, 2012.

TABLA 584. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN 3 CLASES

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD DE FALLA	COLOR EN EL MAPA
Alta	0.4 - 1.0	Rojo
Media	0.09-0.4	Amarillo
Baja	0 – 0.09	Verde

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Se calcula el promedio y la varianza del factor de seguridad estimado para los 80 escenarios y se plantea de manera probabilística calculando el factor Z y la probabilidad de falla P según Alzate (2012) de la siguiente manera:

$$Z = \frac{1 - FS}{desv(FS)} \quad , \quad P = (0,5 \pm Z) * 100$$

No obstante, el protocolo recomienda calcular la varianza del factor de seguridad final para cada celda de cada uno de los escenarios y no a partir de la combinación misma de todos los escenarios calculados en una misma celda. Si bien la probabilidad de falla se obtiene calculando los factores Z tradicionales para evaluar probabilidad de ocurrencia de FS, para estabilidad de taludes se considera apropiado evaluar directamente la probabilidad de falla (caso en que las fuerzas actuantes son iguales a las fuerzas resistentes en la ecuación del factor de seguridad, es decir, que FS=1), considerando los planteamientos de González² (2009); es decir, que si se tiene un resultado de FS

²González G., Álvaro. Factores de seguridad... ¿por qué tantos? V encuentro de ingenieros de suelos y estructuras. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2009.

igual a uno (1), la posibilidad de falla es la misma a la de la estabilidad, lo que corresponde con una probabilidad de falla del 50%, de manera que considerando una seguridad adicional se plantea la amenaza alta a partir de una probabilidad de falla superior al 40% y la amenaza baja como probabilidad de falla menor a 0,09%. Esto genera los rangos de probabilidad de falla que son compatibles y comparables con las condiciones de factor de seguridad y clasificaciones mostradas en la Tabla 583 de manera acorde con el Protocolo, para la incorporación de gestión de riesgo en POMCAS en 2014 y SGC en 2015.

En resumen, la condición de amenaza se presenta para los 10 escenarios solicitados por el Protocolo en distintas combinaciones de superficies de falla posibles y se clasificaron en tres categorías: alta, media y baja. A partir de todas las evaluaciones de posibilidad de falla (80 en total), se calculó también la amenaza en términos probabilísticos considerando no solo un único escenario sino la combinación de todos ellos, lo cual permite adelantarse a la representación de la amenaza general para toda la cuenca también en tres categorías (alta, media y baja) y con la cual resulta más recomendable estimar las condiciones de riesgo, evitando la subjetividad impresa en la selección de un solo escenario en el catálogo de posibilidades calculadas.

2.7.7.5. Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa

2.7.7.5.1. *Precipitación*

Mide la cantidad de lluvia en milímetros reportadas por las diferentes estaciones ubicadas por el IDEAM a lo largo de la cuenca. Como se indicó metodológicamente, para estimar la fracción de agua infiltrada la Guía Técnica sugiere usar el método Alzate (2012) y Torres et al., (2014) que plantea una ecuación empírica que puede llegar a indicar menores niveles freáticos con mayores precipitaciones. Por tal motivo, se utilizó el método lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del U. S. Department of Agriculture.

- Fuente: Mediciones estaciones climáticas multiparamétricas -Consultoría.
- Formato: Ráster.

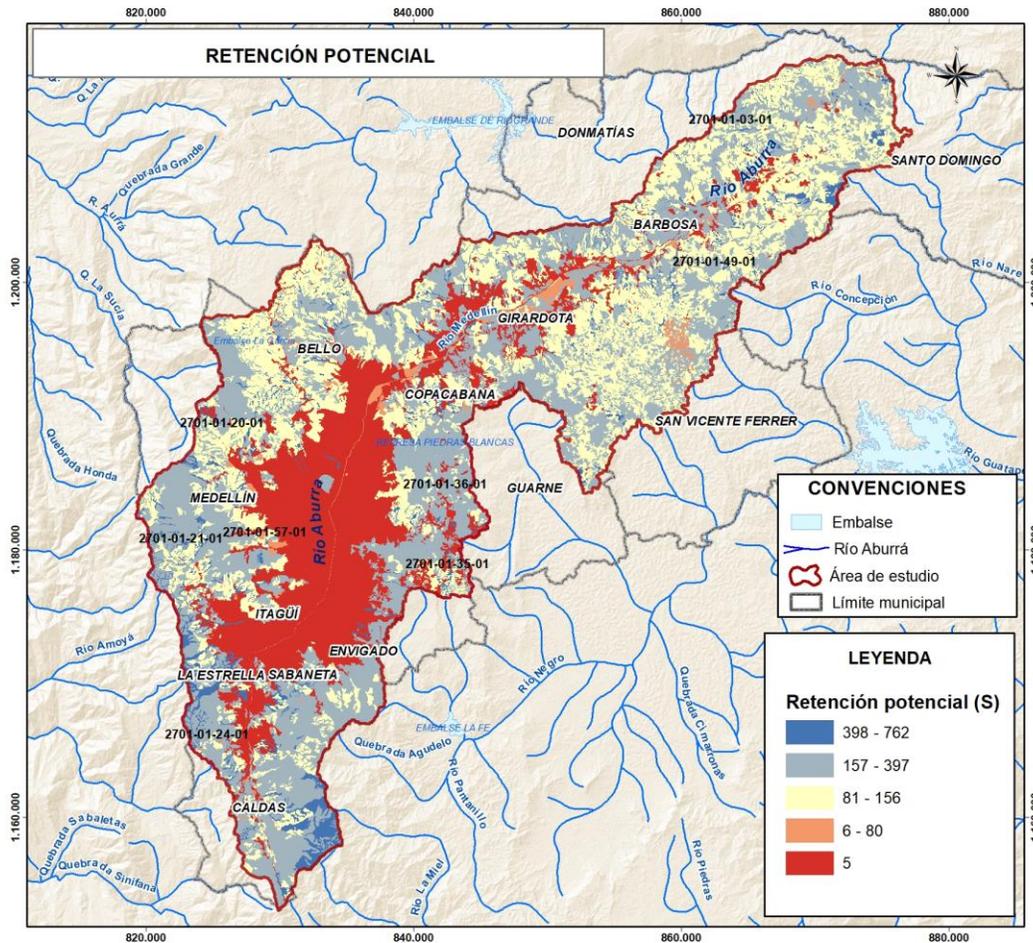
Dentro de la evaluación se emplea el valor de precipitaciones con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, cruzado con el tipo de material y cobertura para obtener la retención potencial (S) (Figura 423) y la respectiva lámina de agua para la precipitación presente en la cuenca. En la (Figura 424) se ilustra la lámina de agua para el caso de las precipitaciones medias, las cuales hacen variar

la lámina de agua en función de cada periodo de retorno como se observa en la Tabla 582 y en los Anexos Diagnostico / Anexo11 Caract Riesgos /6 (Escenarios).

Los mayores valores de retención potencial se presentan en el este de la cuenca hacia el río Porce y hacia el oeste en el páramo de las Baldías mientras que en la parte central de la cuenca en la ciudad de Medellín y algunos sectores de los municipios de Envigado, Bello, Itagüí y Sabaneta se observan valores muy bajos de retención potencial por la presencia de zonas urbanas y de expansión.

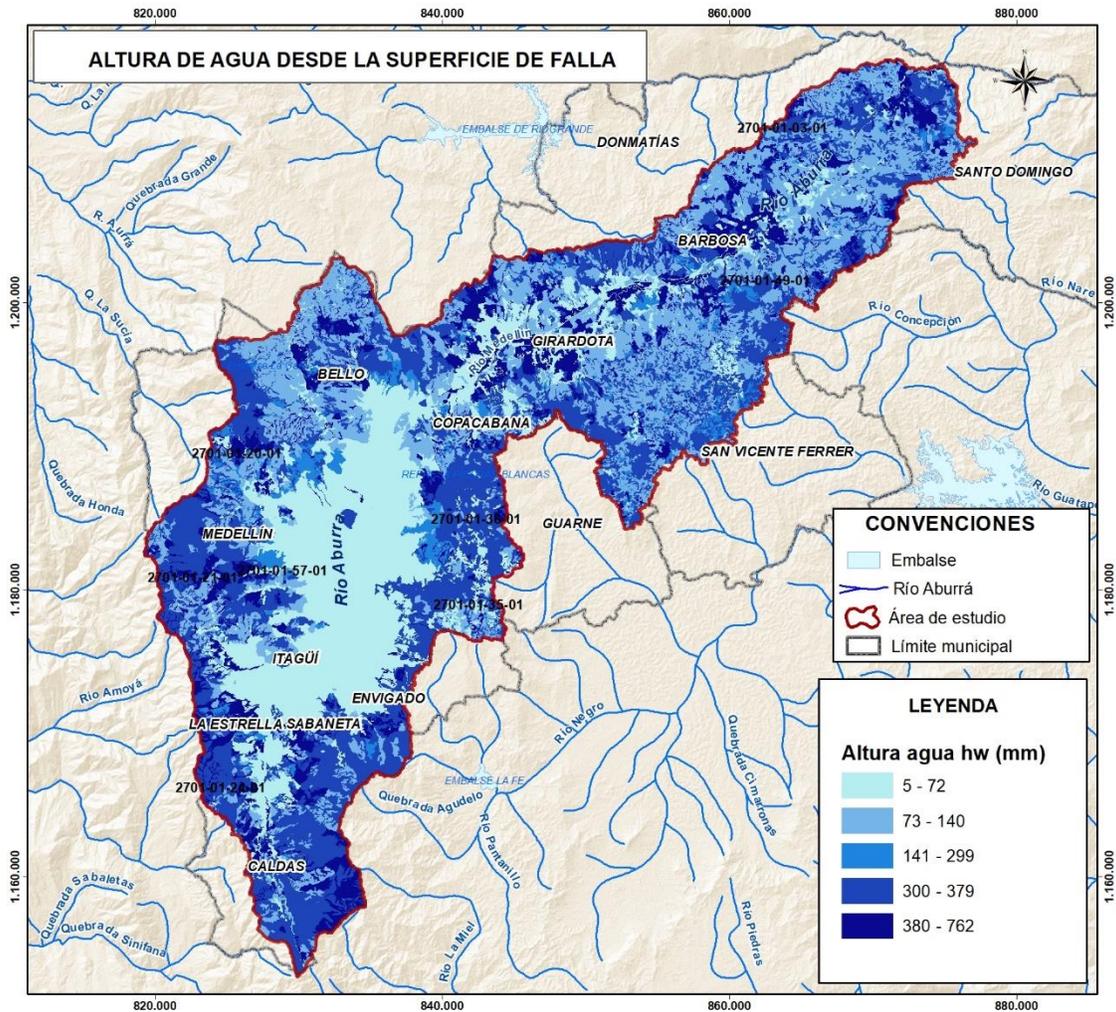
La lámina de agua se manifiesta con valores moderados y bajos en gran parte de la cuenca, con un aumento significativo hacia el páramo de Las Baldías y en la parte este de la sub zona hidrográfica.

FIGURA 423. RETENCIÓN POTENCIAL



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 424. ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA PRECIPITACIÓN MEDIA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

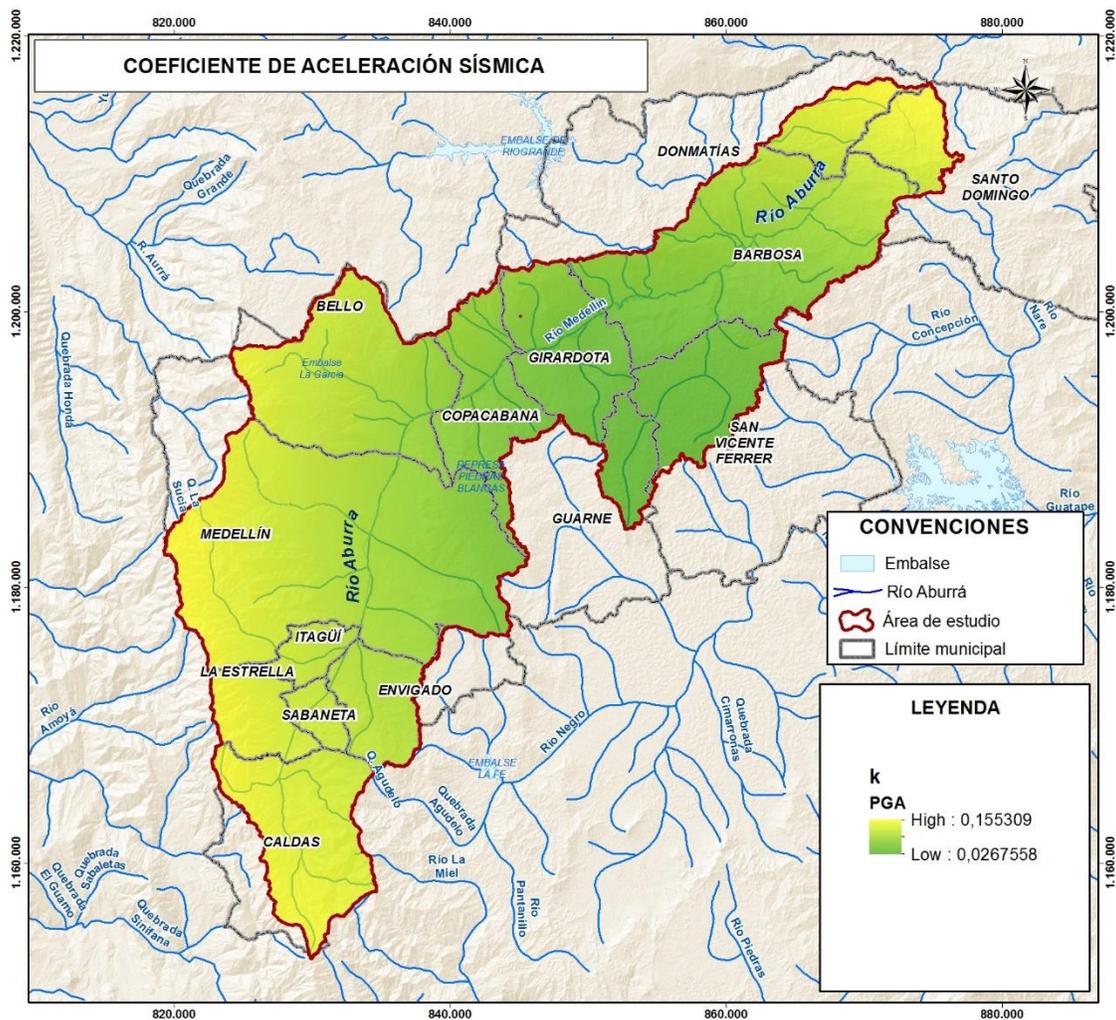
2.7.7.5.2. Aceleración sísmica

La aceleración sísmica se estimó partiendo de los valores regionales de amenaza según el estudio de Amenaza Sísmica Nacional (SGC, 2017) y se corroboraron en las zonas de piedemonte con el estudio de microzonificación sísmica de Medellín, en la que se estimó la aceleración horizontal pico efectiva en superficie considerando la respuesta local o el efecto de sitio. Finalmente, se aplicó a partir de la geometría y morfometría de la cuenca, el efecto topográfico de amplificación y deamplificación de la aceleración sísmica empleando los principios de Jibson (1987), Faccioli (1991)

y la AFPS (1995), logrando diferenciar el coeficiente en las partes cóncavas y convexas de la superficie del terreno (*Figura 425*).

- Fuente: SGC, Alcaldía de Medellín, Actualización Pomca Río Aburrá. 2016.
- Formato: Vector.

FIGURA 425. COEFICIENTE DE ACELERACIÓN SÍSMICA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Los mayores valores de coeficiente de aceleración sísmica se observan en los márgenes este y oeste de la cuenca.

2.7.7.5.3. Modelo geológico geotécnico

Representa las zonas geotécnicas de comportamiento homogéneo, contiene polígonos que simbolizan rocas y suelos en superficie clasificados según lo propuesto por la IAEG (1981), Montero, González, Ángel (1982) y la “Propuesta metodológica para la cartografía geológica aplicada a geomecánica”, desarrollada dentro del “Proyecto Compilación de la Información Geomecánica”, elaborado por INGEOMINAS (2005), hoy SGC. Cada zona geotécnica homogénea generaliza materiales que dan origen a las formaciones superficiales y el suelo que resulta de la degradación o transporte de los mismos.

Como se indicó anteriormente, los parámetros de resistencia se asignaron considerando los resultados de laboratorio del componente de geología y los parámetros que dan cuenta del comportamiento geomecánico en otros estudios precedentes, ya indicados en los apartes de información antecedente. Los parámetros de densidad y resistencia al corte para un modelo de falla drenada basada en el criterio de Mohr-Coulomb bajo un mecanismo de falla traslacional se muestran en la Tabla 585.

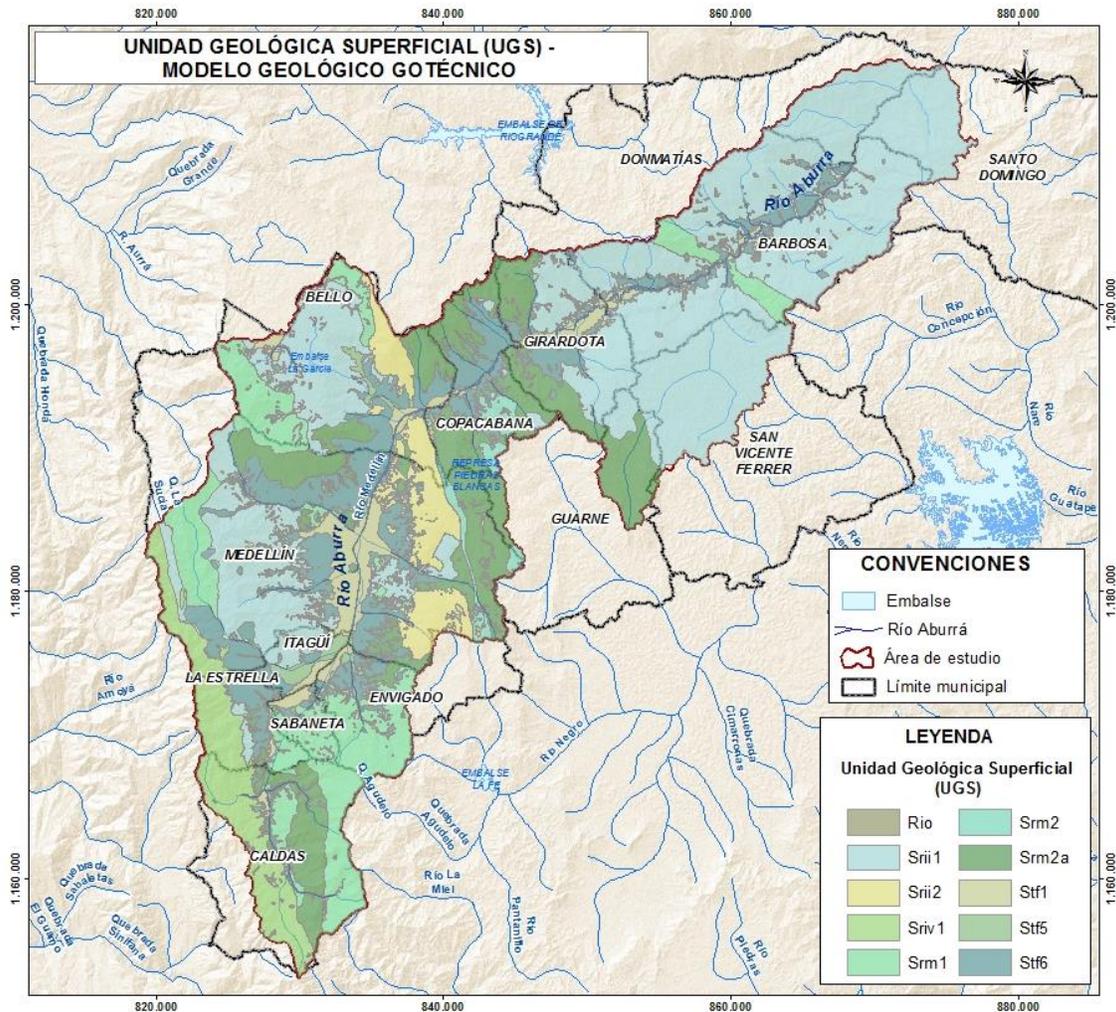
TABLA 585. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EVALUADOS PARA CADA UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL

UGS	Yt (kN/m ³) <<Gamma>>	ø' (grados) <<Phi>>	c' (kPa) <<C>>
Rio	-	-	-
Stf1	17,7	29,21	35,0
Stf6	19,2	27,0	25,0
Sriv1	17,6	25,4	30,0
Srm2a	18,9	28,3	34,3
Srm1	17,6	28,1	17,0
Srm2	18,0	19,0	16,0
Srii1	18,0	26,2	35,0
Srii2	19,0	24,0	30,0
Stf5	19,0	35,0	12,0

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

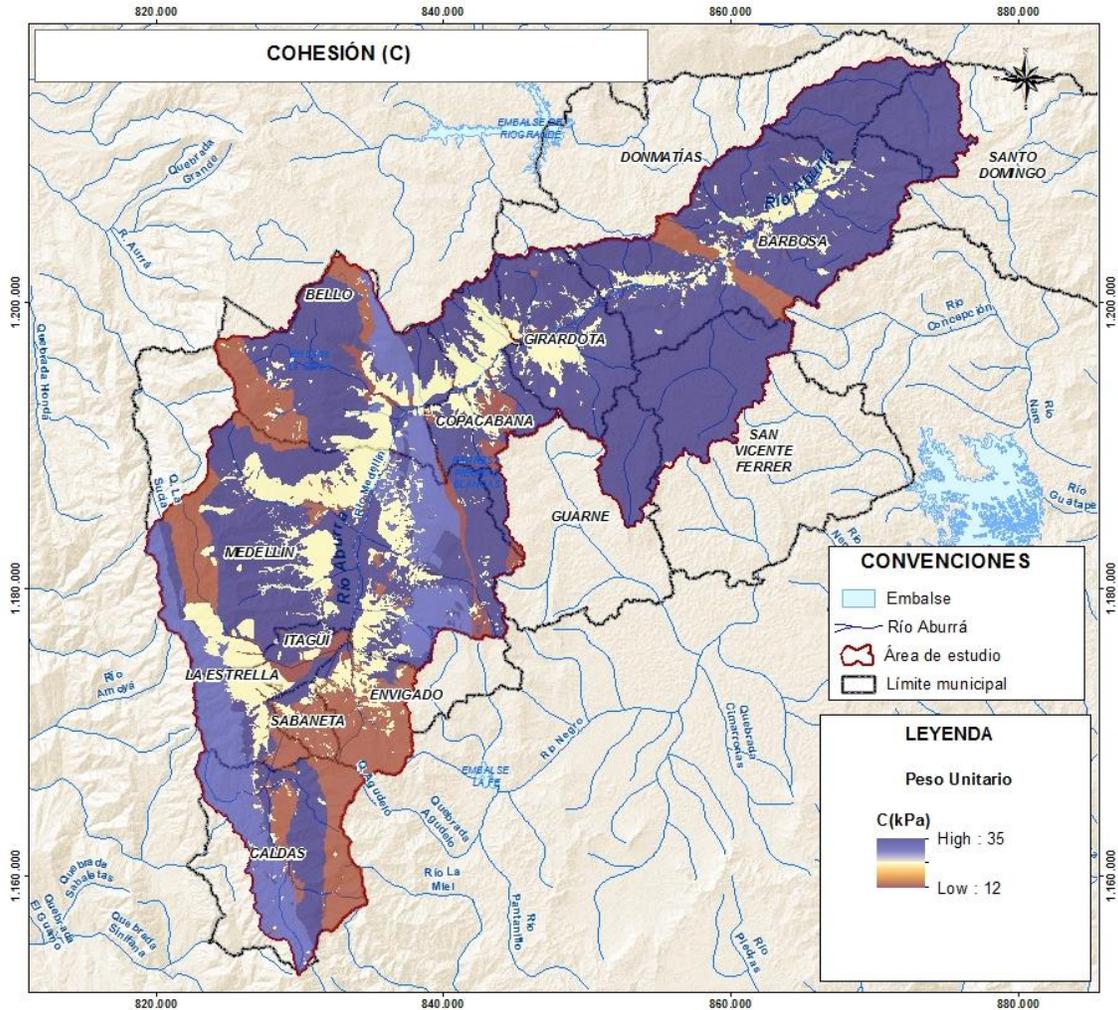
Adicionalmente, de la *Figura 426* a la *Figura 429* se presenta la distribución espacial de las unidades geológicas superficiales usadas dentro del modelo geológico geotécnico y de cada parámetro geomecánico requerido dentro de la evaluación por movimientos en masa.

FIGURA 426. MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO



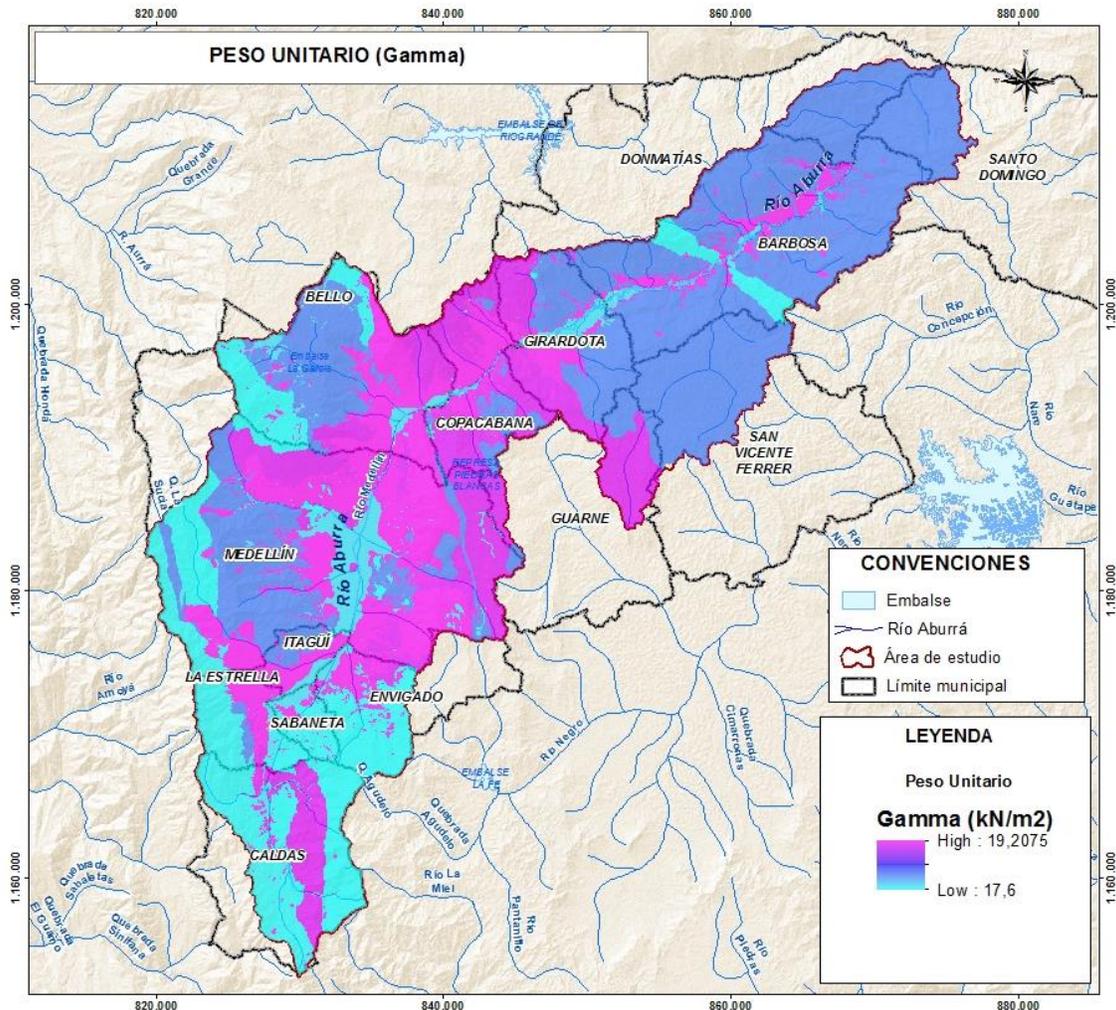
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 427. COHESIÓN



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 429. PESO UNITARIO

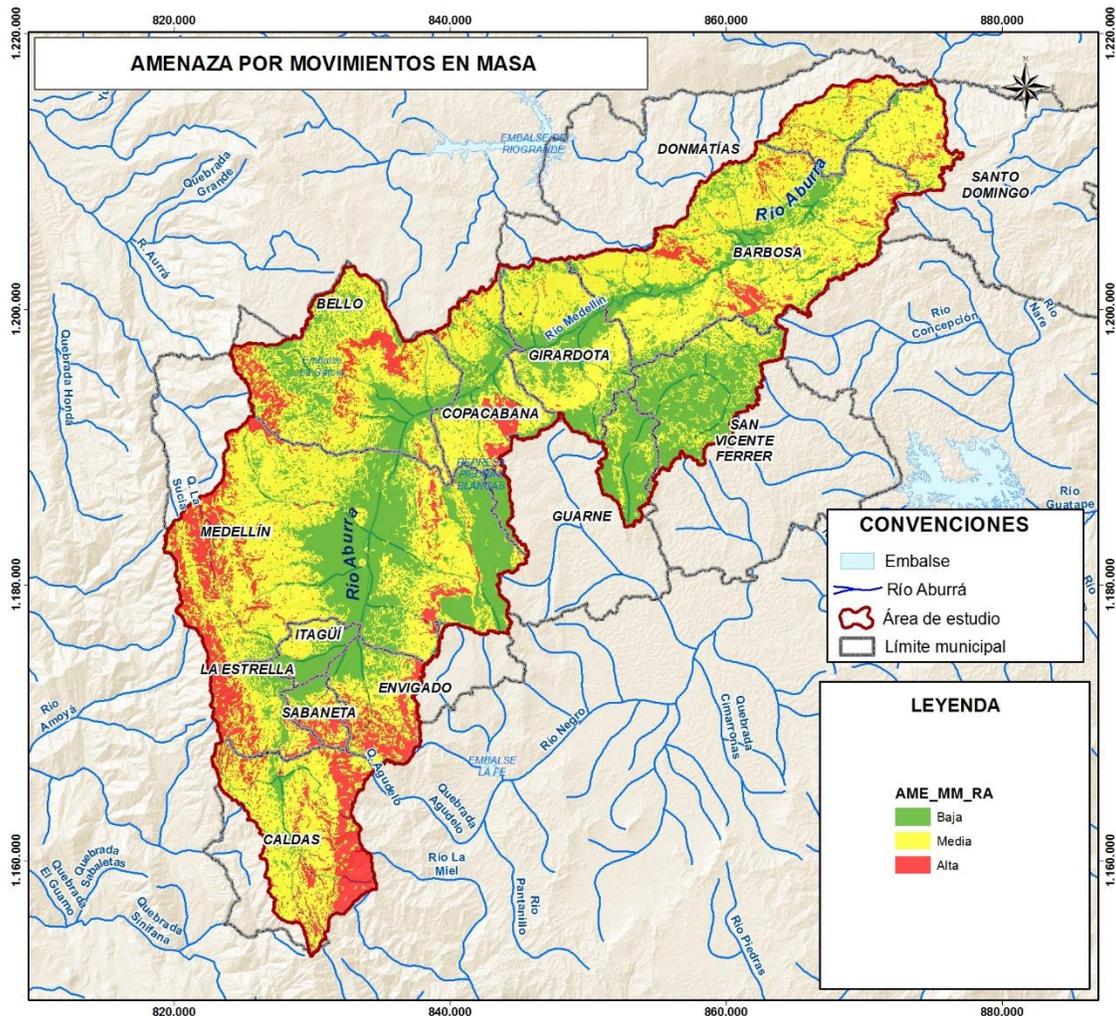


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.7.6. Análisis de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa

La zonificación de amenaza se presenta entre valores bajos con proporción alrededor del 31% (37.000 ha), medios cercanos al 57% (69.648 ha) y altos en el resto de la cuenca con un 12% (14.073 ha) como se observan en la Figura 430 (Anexos Diagnostico / Anexo11 Caract Riesgos / 4Calculos). En la parte sur en los municipios de Sabaneta, Envigado y Caldas se presentan los relieves más abruptos de la cuenca con pendientes relativamente mayores y niveles moderados de espesor de láminas de agua para los casos de saturación parcial de suelos.

FIGURA 430. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

En sectores de los municipios de Caldas, Envigado, Sabaneta, La Estrella y Bello se presentan predominantemente zonas de amenaza media y alta, que se logran contrastar en algunos sectores por el resultado del coeficiente de aceleración sísmica de la cuenca. Por otra parte, en la ciudad de Medellín y demás municipios predominan las amenazas media y baja con variaciones moderadas de pendientes y unidades litológicas recientes de origen fluvial y metamórfico que se reflejan en parámetros de roca y suelo que favorecen la estabilidad de los taludes en este sector. En general, las zonas de amenaza se presentan dispersas en todos los municipios y depende de manera

sensible de todas las variables involucradas, de manera que distintas zonas de amenaza con la misma calificación puede mostrar favorable o desfavorablemente unos u otros parámetros tenidos en cuenta. La salida cartográfica del indicador de amenaza alta y media se presenta en el Anexo Cartografía Aburra 6salidas cartograficas 32A SC Indicador Amenaza Alta Media MM.

Por lo anterior, referente a la dispersión de las áreas de amenazas altas, medias y bajas, se plantean las siguientes consideraciones en función de cada una:

- Las zonas de **amenaza alta** corresponden con laderas en las que han ocurrido movimientos en masa o confluyen condiciones que favorecen su ocurrencia como áreas de fallamiento local, meteorización alta a moderada, discontinuidades desfavorables, alta pendiente, erosión hídrica alta y socavación permanente en los márgenes de los cuerpos de agua.
- Las zonas de **amenaza media** corresponden con laderas donde han ocurrido algunos movimientos en masa y existe la posibilidad de que ocurran, pues confluyen algunas de las condiciones que favorecen su ocurrencia como algunas áreas cercanas a fallas locales, presencia de cortes y rellenos en caminos rurales, pendientes moderadas y erosión hídrica moderada o socavación lateral moderada.
- Las zonas de **amenaza baja** corresponden con laderas en las que no existen indicios que permitan predecir deslizamientos y confluyen pocas condiciones que favorecen su ocurrencia, son áreas con materiales con discontinuidades favorables, ausencia de fallamiento local o erosión hídrica y poca pendiente del terreno.

La zonificación de amenaza presentada es el resultado de la evaluación con método probabilista, planteado a partir de la combinación de los escenarios mostrados anteriormente en todas las condiciones posibles de profundidades de superficies de falla y presencia o ausencia de detonantes lluvia y sismo. En los anexos mencionados sobre los escenarios (80 condiciones evaluadas combinadas en 10 escenarios) se presentan los resultados de la evaluación de cada posibilidad. Es evidente que las condiciones de saturación y fuerzas sísmicas actuantes agravan la condición de inestabilidad de las laderas, por lo cual el resultado combinado refleja en parte dicha presencia de detonantes. Si bien las laderas son susceptibles a movimientos en masa, la ocurrencia de estos es selectiva en ciertas zonas que podrían ser específicas dentro de la cuenca.

Al reducir la saturación de los suelos y sin la influencia de eventos sísmicos, lo que corresponde con los escenarios más favorables, la condición de estabilidad es considerablemente mejor en toda la cuenca, teniendo la mayoría de la cuenca en zona de amenaza baja por movimientos en masa.

A medida que se van incrementando los valores de saturación o si se incluye la acción del sismo, lo que corresponde con escenarios intermedios a favorables, aparecen en los resultados zonas de amenaza media y alta más amplias. Finalmente, al aplicar valores altos de saturación y la acción del sismo, resultan zonas de amenaza alta más marcadas y zonas de amenaza media dominando las áreas en las zonas de ladera.

2.7.8. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por inundaciones

El análisis de inundaciones se realizó con base en los datos obtenidos a partir de información secundaria y de campo, estos datos fueron espacializados y analizados, encontrando que como tendencia general los fenómenos reportados están dentro del área de influencia del cauce principal del río Medellín, en los municipios de Envigado, Caldas, Barbosa, Bello, Copacabana, Girardota, La Estrella e Itagüí.

En general la llanura de inundación, con un mejor desarrollo dentro de los municipios del Valle Medio del Aburrá, tiene una pendiente suave con algunas zonas cóncavas las cuales permiten la acumulación; a medida que nos alejamos de la base, estas se hacen cada vez más inclinadas, en la margen transicional algunas veces, sobre grandes depósitos (flujos de escombros), sobre roca o saprolito, esta cambia bruscamente.

Las zonas de transición ubicadas cerca de la desembocadura en el río Medellín de las quebradas que drenan las laderas del Valle de Aburrá, donde se presentan topografías más planas y hay una transición gradual entre la ladera y la llanura aluvial, sea esta del río o de la quebrada donde se presentan los abanicos o conos recientes, son las zonas con mayor probabilidad de resultar afectadas por inundaciones tras un evento de lluvias de gran intensidad.

En la llanura aluvial con pendientes menores a 1% (Rendón, 1997), donde el Valle de Aburrá presenta su mayor extensión transversal al eje del río, los abanicos aluviales cubren amplias áreas casi planas y algunas veces bajo el nivel del canal activo del río con una tendencia natural a

presentar inundaciones, ya que en un pasado constituían zonas cenagosas y pantanosas de constante intercambio con la corriente principal durante temporadas lluviosas donde el río y afluentes de orden superior, presentaban frecuentes desbordamientos y rupturas de su canal principal.

Las quebradas del Valle de Aburrá presentan, además de lo anterior, puntos críticos inundables generados por condiciones geológicas (zonas de baja permeabilidad) y/o geomorfológicas (cambios en la forma de la pendiente, topografías heredadas de antiguos canales), pero principalmente por la incidencia antrópica como bloqueo del cauce por basuras y escombros, insuficiencia en las obras hidráulicas, diferentes grados de incisión y cambios en la geometría de un mismo canal en tramos muy cortos, técnicas de construcción no adecuadas, explotación y remoción de material de playa, invasión de cauces, deforestación de las márgenes (lo cual disminuye el agarre del suelo facilitando su transporte e incorporación al flujo), presencia de vías e infraestructura con obras hidráulicas insuficientes, etc (UNAL, 2009).

2.7.8.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a inundaciones

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través de un análisis geomorfológico - histórico, donde se efectuó una interpretación de las geoformas y relieves de ambiente fluvial, aluvial y lacustrino a partir de imágenes satelitales, DEM, modelos de sombras y pendientes y análisis de la información histórica.

El objetivo de dicho análisis fue el de encontrar vestigios y evidencias físicas de inundaciones dentro de la cuenca. Una vez identificadas las geoformas (subunidades geomorfológicas y las unidades de terreno) relacionadas con los eventos de desplazo de las aguas de un río, estas fueron categorizadas según la relación con la actividad fluvial (antigua, efímera o activa).

2.7.8.2. Descripción de variables de susceptibilidad a inundaciones

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la susceptibilidad a inundaciones en el área de la cuenca hidrográfica del río Aburrá fueron la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) como se ilustra en la Figura 431.

FIGURA 431. VARIABLES QUE DETERMINAN A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA AMENAZA POR INUNDACIONES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.8.2.1. Localización de inundaciones (LIN)

Los fenómenos localizados y evaluados son todos aquellos que hacen parte del inventario de inundaciones de la cuenca hidrográfica del río Aburrá. Estos registros son fundamentales, pues a partir de ellos se castigan las Unidades de Terreno y Subunidades Geomorfológicas que participan en el modelamiento de la susceptibilidad. Las inundaciones históricas (INUNHIST) que fueron consideradas son el consolidado de la revisión de fuentes secundarias, en las que se describen su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia (trabajadas en formato vector tipo punto) y se tiene en cuenta la base georreferenciada extraída de la visita de campo.

En general, la mayor incidencia por inundaciones está estrechamente relacionada a las principales corrientes hídricas, tal y como se puede consultar con mayor detalle en la sección *caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes* del presente documento.

2.7.8.2.2. Factores Condicionantes

▪ Subunidades Geomorfológicas (SG)

Corresponde a geoformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica la que permite determinar las áreas susceptibles a inundarse según la temporalidad del proceso (activos, intermitentes o antiguos). Este parámetro fue analizado con

estas unidades, al estar asociadas a las corrientes hídricas y estar constituidas por materiales finos arcillosos aumentan su cota de nivel, durante las temporadas de lluvias y afectan planos anegadizos, constituyéndolos como depósitos fluvio-lacustres (limosos y arcillosos) de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación, generados por el desbordamiento y dinámica natural del río.

▪ **Unidades de Terreno (UT)**

Corresponde a geoformas particulares del terreno consideradas dentro de un nivel del sistema jerárquico, relacionada con las formas de relieve: ambientes morfogenéticos y sistemas de terreno (Zinck, 2012). Cada geoforma se clasifica según su génesis, morfología y geometría del relieve. Su análisis permite identificar geoformas asociada a procesos de inundación y subsiguientemente determinar zonas susceptibles a esta amenaza.

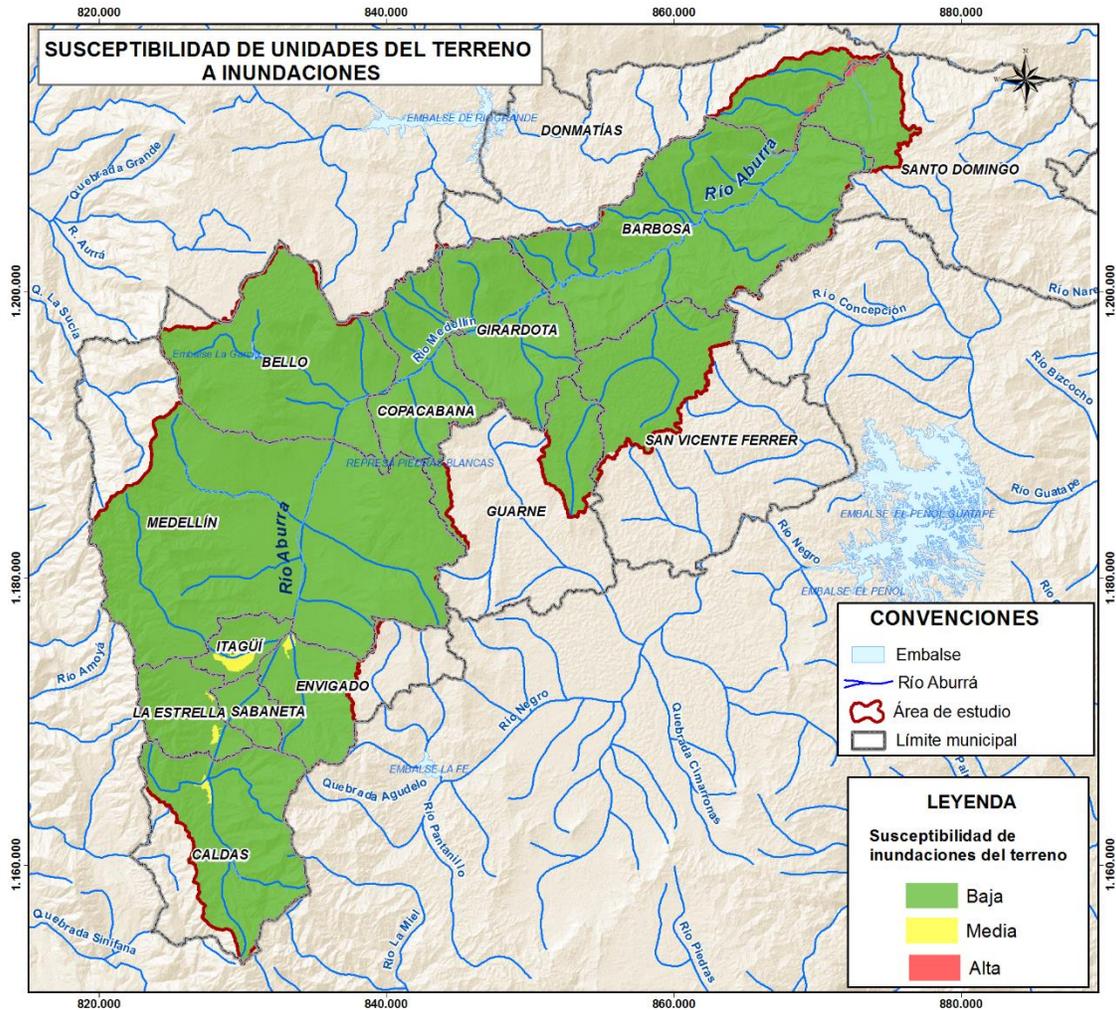
Este parámetro fue analizado con base en las unidades de terreno según Zinck (1989), definidas para el área de la cuenca hidrográfica del río Aburrá (*Figura 433*). La información se maneja en formato vector tipo polígono.

2.7.8.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones

Para el análisis de la caracterización de las áreas susceptibles a inundación en la cuenca hidrográfica del río Aburrá el modelo de susceptibilidad se obtuvo por medio de la integración de la información referente a la localización de inundaciones (LIN) y los factores condicionantes (Subunidades Geomorfológicas y Unidades de Terreno) de las geoformas y relieves de ambiente fluvial presentes en el área.

En general la cuenca hidrográfica del río Aburrá está caracterizada por presentar las mayores elevaciones hacia el norte y sureste de la cuenca, que tienden a disminuir hacia la parte central de la sub zona hidrográfica, alcanzando sus menores valores en el valle aluvial del río Aburrá y en el tramo final de sus principales afluentes (*Figura 433*).

FIGURA 433. SUSCEPTIBILIDAD DE UNIDADES DEL TERRENO A INUNDACIONES

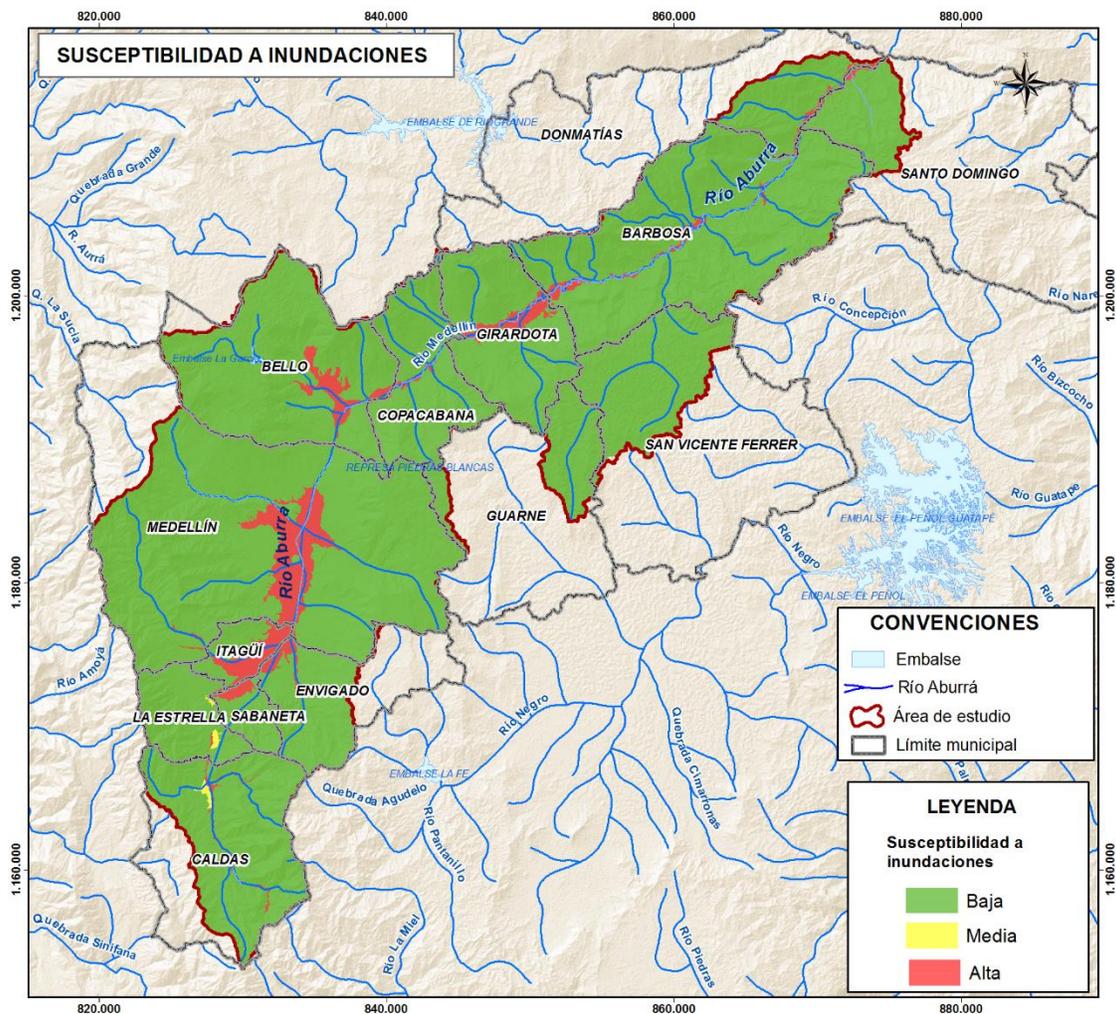


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Los ambientes fluvioaluvial y lacustrino poco predominantes en la zona han permitido (entre otros) el desarrollo de paisajes morfogenéticos de planicie aluvial y valle, donde el bajo índice de relieve, la poca capacidad de infiltración de los depósitos aluviales finos que los constituyen y la proximidad de los cuerpos hídricos favorecen la ocurrencia de eventos de inundación, siendo así de gran utilidad para la determinación de susceptibilidad por esta amenaza en la sub zona hidrográfica que ocupa una pequeña proporción de la cuenca del río Aburrá.

Como resultado de lo anterior, se obtiene el mapa de susceptibilidad a inundaciones (*Figura 434*): este mapa ilustra cómo aproximadamente 6688 hectáreas (es decir el 5% del área total de la sub zona hidrográfica) se catalogan con una susceptibilidad alta a inundaciones. Dentro de estas áreas, se encuentran formas del terreno del paisaje morfogenético de planicie aluvial desarrolladas sobre depósitos aluviales finos, que cuentan con actividad hídrica reciente, de igual forma la proximidad y estrecha relación de los albardones) y orillares con la dinámica de las corrientes hídricas las caracteriza como unidades con una alta susceptibilidad a inundación.

FIGURA 434. SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

En el caso puntual de los reportes población del cañón del Valle del río Aburrá de inundación reciente, hacen que aumente la susceptibilidad de las unidades que tienen incidencia directa sobre este tramo y es así como la parte más distal del abanico aluvial (Faa) y el plano o llanura de inundación (Fpi) de los cuerpos de agua que afectan zonas aledañas a este sector, se categoricen con una alta susceptibilidad a inundaciones.

Por otro lado, en el mapa de Susceptibilidad a inundaciones (*Figura 434*), aproximadamente 148 hectáreas (es decir menos del 1% del área total de la sub zona hidrográfica) se catalogan con una susceptibilidad media a inundaciones asociados a vegas y planicies de inundaciones con poca actividad fluvial o con un desarrollo de terracedo significativo que se encuentran a una posición distal al cuerpo de agua predominante.

Las susceptibilidades bajas a fenómenos de inundación abarcan un área de 111968 hectáreas (es decir el 95% del área total de la cuenca hidrográfica del río Aburrá) y están principalmente relacionadas con crestones y lomas del paisaje morfogénico de montaña y lomerío, que en virtud de su pendiente y morfología, corresponden al ambiente morfogénico estructural y erosional, con geoformas originadas por plegamiento, fallamiento, fractura y denudación.

2.7.8.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por inundaciones

Para la zonificación de la amenaza por inundaciones, se realizó una categorización y calificación para cada una de las variables que detonan la ocurrencia de inundaciones y se cruzó con la zonificación de susceptibilidad generada.

La zonificación de la amenaza se efectuó en los siguientes pasos:

- Análisis geomorfológico–histórico: La categorización de amenazas se realizó teniendo en cuenta la temporalidad de los eventos de inundación, los cuales fueron clasificados en tres rangos según su fecha de ocurrencia.
- Posteriormente cada unidad geomorfológica fue castigada o condonada por la temporalidad que presentarán los históricos contenidos.
- Descripción de la zonificación de la amenaza a inundaciones.

2.7.8.5. Descripción de las variables para obtener amenaza por inundaciones

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza incluyen la localización de las zonas de inundación y la categorización de los fenómenos históricos de inundación junto con la zonificación de susceptibilidad en la zona (*Figura 435*).

FIGURA 435. VARIABLES PARA LA MODELACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.8.5.1. *Inundaciones históricas (INUNHIST)*

La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo. La información se maneja en formato vector tipo punto y se categoriza de acuerdo a su recurrencia (alta menor a 15 años; media entre 15 y 50 años, baja mayor a 50 años) como se observa en la *Tabla 586*.

TABLA 586. CATEGORIZACIÓN DE LA RECURRENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN

TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO	CLASIFICACIÓN	
Menor a 15 años	Alta	
Entre 15 y 50 años	Media	
Mayor a 50 años	Baja	

FUENTE: ANEXO B. GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE POMCAS, 2015

De acuerdo con la información disponible, los reportes por inundación están asociados a fenómenos recientes. En el *numeral eventos amenazas y descripción de la recurrencia de eventos por inundaciones* se describen los eventos espacializados y catalogados por este tipo de amenaza junto a una descripción del afectaciones y daños causados por los mismos.

2.7.8.5.2. Zonas de susceptibilidad a inundaciones

Proviene de la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones en las categorías media y alta descritas en el capítulo anterior, la información se maneja en formato vector tipo polígono.

2.7.8.6. Análisis de la zonificación de la amenaza por inundaciones

En virtud de la temporalidad de los eventos reportados y georeferenciados por inundaciones se obtiene el mapa de amenaza por inundaciones (*Figura 436*), donde son clasificadas 6954 hectáreas como zona de amenaza alta (representando un 6% de la subzona hidrográfica).

En general, las zonas de amenaza media abarcan aproximadamente 1781 hectáreas (conformando el 2% del área total de la sub zona hidrográfica) en donde la recurrencia de los eventos es media. Adicional, zonas donde no hay registros históricos de inundaciones, donde el cuerpo hídrico asociado tiene una menor incidencia o donde hay un aumento en el índice de relieve, son catalogadas como zonas de amenaza baja finalmente con 112083 hectáreas (es decir el 92% del área total de la sub zona hidrográfica), que están principalmente relacionadas con crestones y lomas del paisaje morfo genético de montaña y lomerío (al occidente y centro de la sub zona hidrográfica) (*Figura 436*).

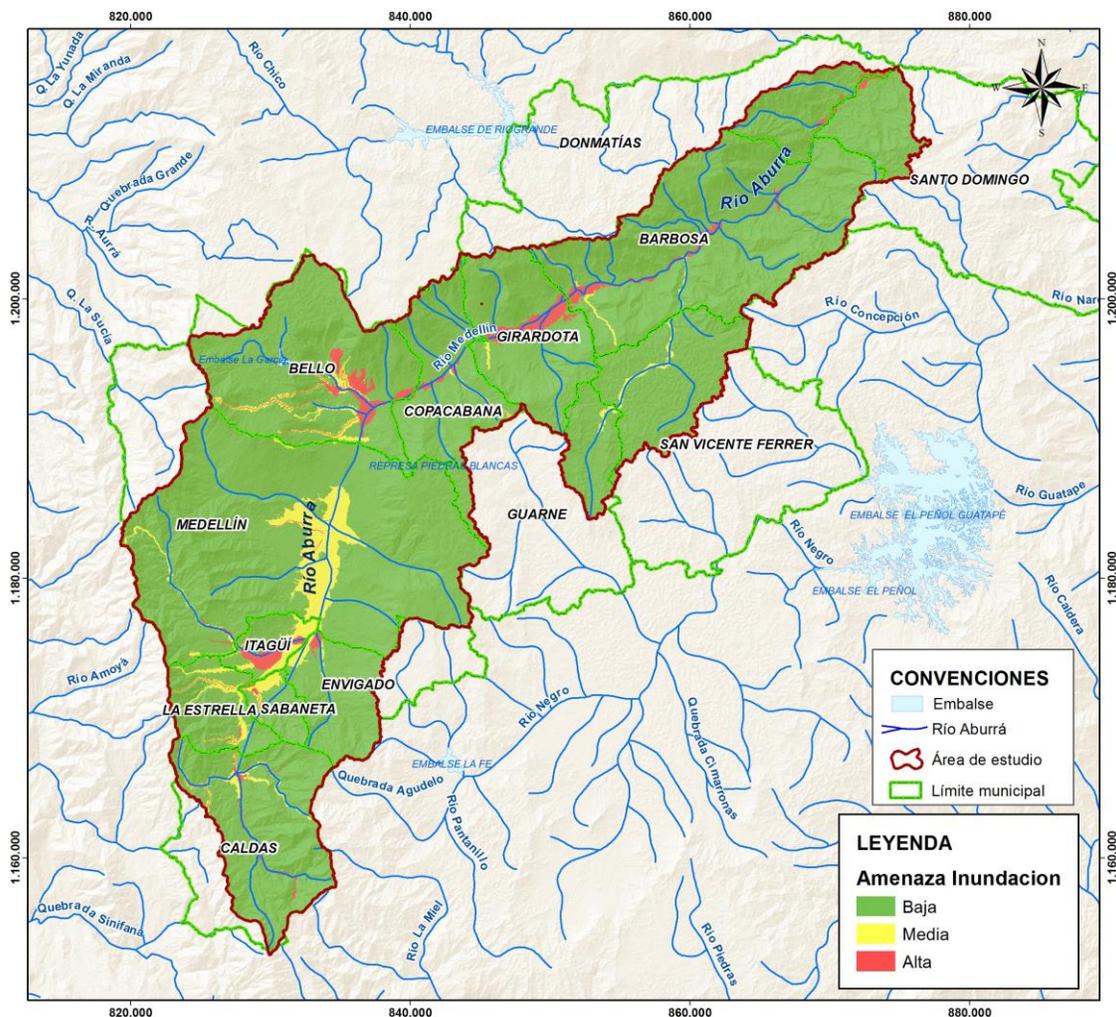
Aunque la dinámica fluvial predominante de la cuenca hidrográfica del río Aburrá está orientada a fenómenos torrenciales, es importante tener en cuenta esta zonificación, sobretodo asociada a eventos causados por variabilidad climática que permita que se superen las cotas máximas de inundación en los cauces y causen desbordamientos en los mismos.

Al aplicar el método descrito se obtiene una zonificación de amenaza por inundación, que califica como alta en el casco urbano de Medellín. Sin embargo, como se indicó en los alcances técnicos, las modificaciones y canalizaciones al sistema de drenaje urbano pluvial no son tenidos en cuenta metodológicamente, por lo cual la zonificación necesariamente es diferente si se analiza en escala de mayor de detalle como la realizada en el Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín, que identifica zonas de amenaza baja, media y alta en los márgenes del río Aburrá y algunas quebradas

tributarias. Para considerar lo anterior, se realiza complementariamente y solo para presentar en el análisis una recalificación de la geoforma directamente asociada al casco urbano de Medellín, para recomendar tener en cuenta análisis con mayor detalle (*Figura 437*).

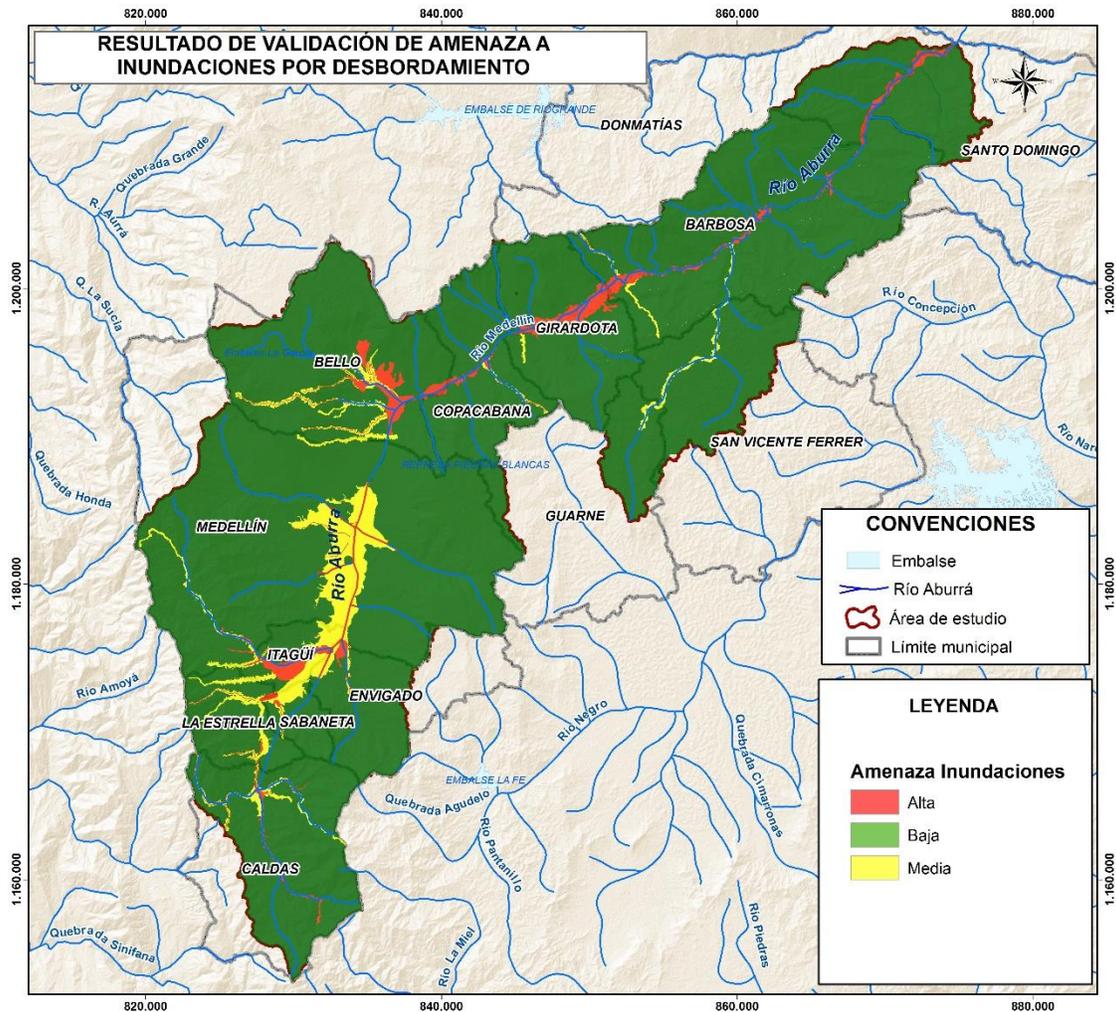
La información cartográfica se presenta en el Anexo Cartografía Aburra 6 Salidas cartograficas 32B SC Indicador Amenaza Alta Media.

FIGURA 436. MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIONES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 437. MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIONES VALIDADO

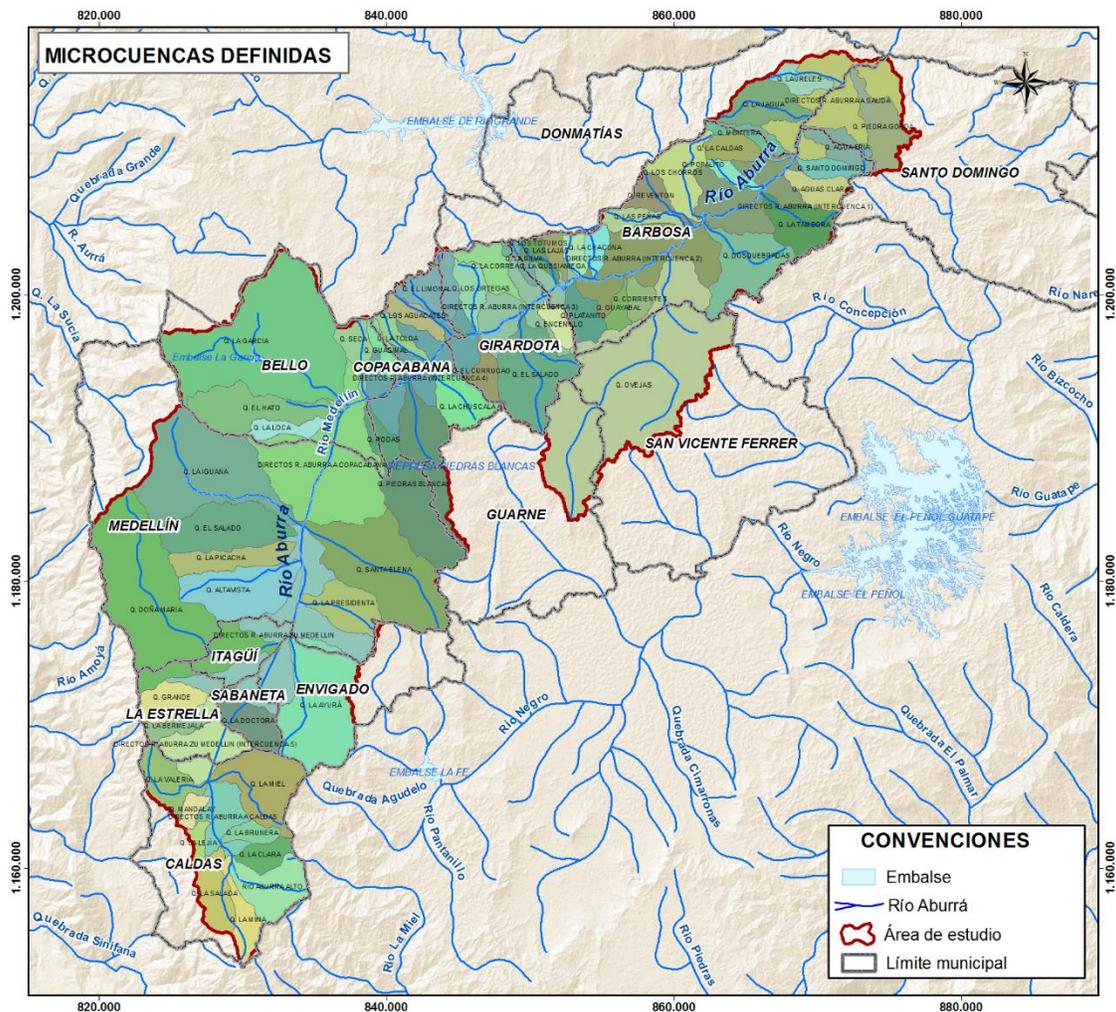


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.9. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales

Se definieron de 68 microcuencas (*Figura 438*) para una red hídrica con patrón de drenaje dendrítico y densidades de drenaje entre 1,6 y 13,5 (bien drenadas) descritos en los capítulos Hidrografía y Morfometría.

FIGURA 438. MICROCUENCAS DEFINIDAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.9.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características morfométricas e hidrológicas de cada subcuenca. Para las microcuencas que conforman la sub zona hidrográfica se calculó además el Índice de Melton, con el propósito de clasificar la torrencialidad de cada una de ellas.

Se empleó la siguiente ecuación y los cálculos hacen parte del mapa de microcuencas:

$$\text{Índice de Melton} = (H_{max} - H_{min}) \times S^{-0.5}$$

Donde Hmax y Hmin son la cota de altura máxima y mínima de la microcuenca y S, es el área de la microcuenca. De tal forma que, una microcuenca presenta torrencialidad cuando el índice de Melton presenta valores superiores a 0,5.

Otra variable a evaluar fue el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), el cual se calculó en éste caso para las microcuencas abastecedoras y representa el grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos de carácter torrencial. Este índice varía cualitativamente desde bajo a muy alto. Particularmente, el IVET depende de dos variables: el Índice de Variabilidad (IV) y el índice morfométrico descritos a continuación:

$$IV = (\log Qi - \log Qf) / (\log Xi - \log Xf)$$

Donde, Qi y Qf = Dos caudales tomados de la curva de duración de caudales y Xi y Xf = Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf.

El índice morfométrico se calculó teniendo en cuenta la matriz de relaciones de categorías descritas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, para la metodología ERA que se ilustran en la Tabla 587. La correlación de estas tres categorías define el índice morfométrico como se ilustra en la Figura 439.

Una vez categorizado tanto el índice morfométrico como el índice de variabilidad (IV), es posible definir (mediante su relación) el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se observa en la Tabla 588.

Finalmente, para zonificar la susceptibilidad se utilizan pruebas lógicas de tipo OR, en donde se seleccionan microcuencas con Índice de Melton mayores a 0.3 y zonas que presenten calificaciones de IVET medias, altas y muy altas.

TABLA 587. RELACIONES PARA CATEGORÍAS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Índice morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km ²)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga	Casi redonda a oval-redonda		

FUENTE: IDEAM, 2013

FIGURA 439. RELACIONES ENTRE VARIABLES PARA EL ÍNDICE MORFOMÉTRICO

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4
		315	325	335	345	355	5
	4	411	421	431	441	451	1
		412	422	432	442	452	2
		413	423	433	443	453	3
		414	424	434	444	454	4
		415	425	435	445	455	5
	5	511	521	531	541	551	1
		512	522	532	542	552	2
		513	523	533	543	553	3
		514	524	534	544	554	4
		515	525	535	545	555	5

Muy Alta
 Alta
 Baja
 Moderada
 Muy Baja

FUENTE: RIVAS Y SOTO, 2009; EN IDEAM, 2013

TABLA 588. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTOS TORRENCIALES IVET

Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

FUENTE: IDEAM, 2013

2.7.9.2. Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a avenidas torrenciales

Las variables que se tienen en cuenta para determinar las zonas en las cuales el caudal y la forma puedan generar eventos torrenciales, son el Índice de Melton y el Índice de Variabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), como se ilustra en la *Figura 440*.

FIGURA 440. VARIABLES QUE DETERMINAN A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES



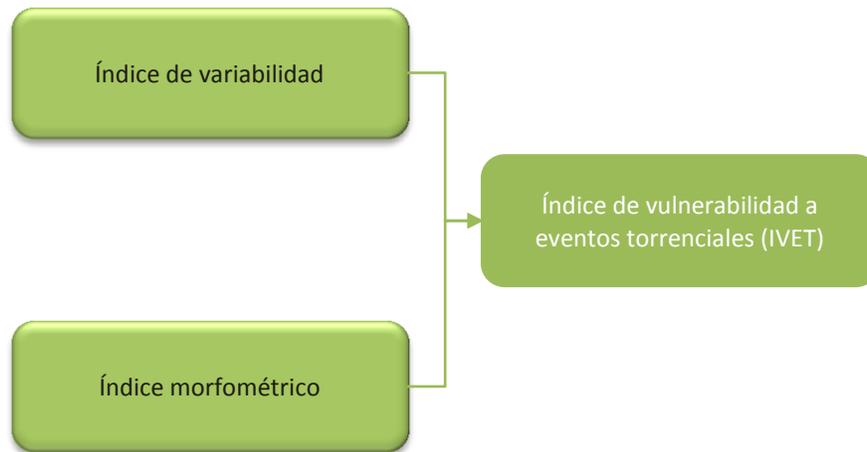
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RIO ABURRÁ. 2016

2.7.9.2.1. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca o, en este caso, microcuencas y subcuencas, a presentar eventos torrenciales. Este índice depende de dos variables: el índice de variabilidad (IV) y el índice morfométrico, por medio de los cuales se estima la influencia de la morfometría y de los caudales en la existencia de un evento torrencial (*Figura 441*).

- Formato: Vector.
- Fuente: Componentes morfometría, hidrología e hidrografía actualización POMCA río Aburrá.

FIGURA 441. ÍNDICES IMPLÍCITOS EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES

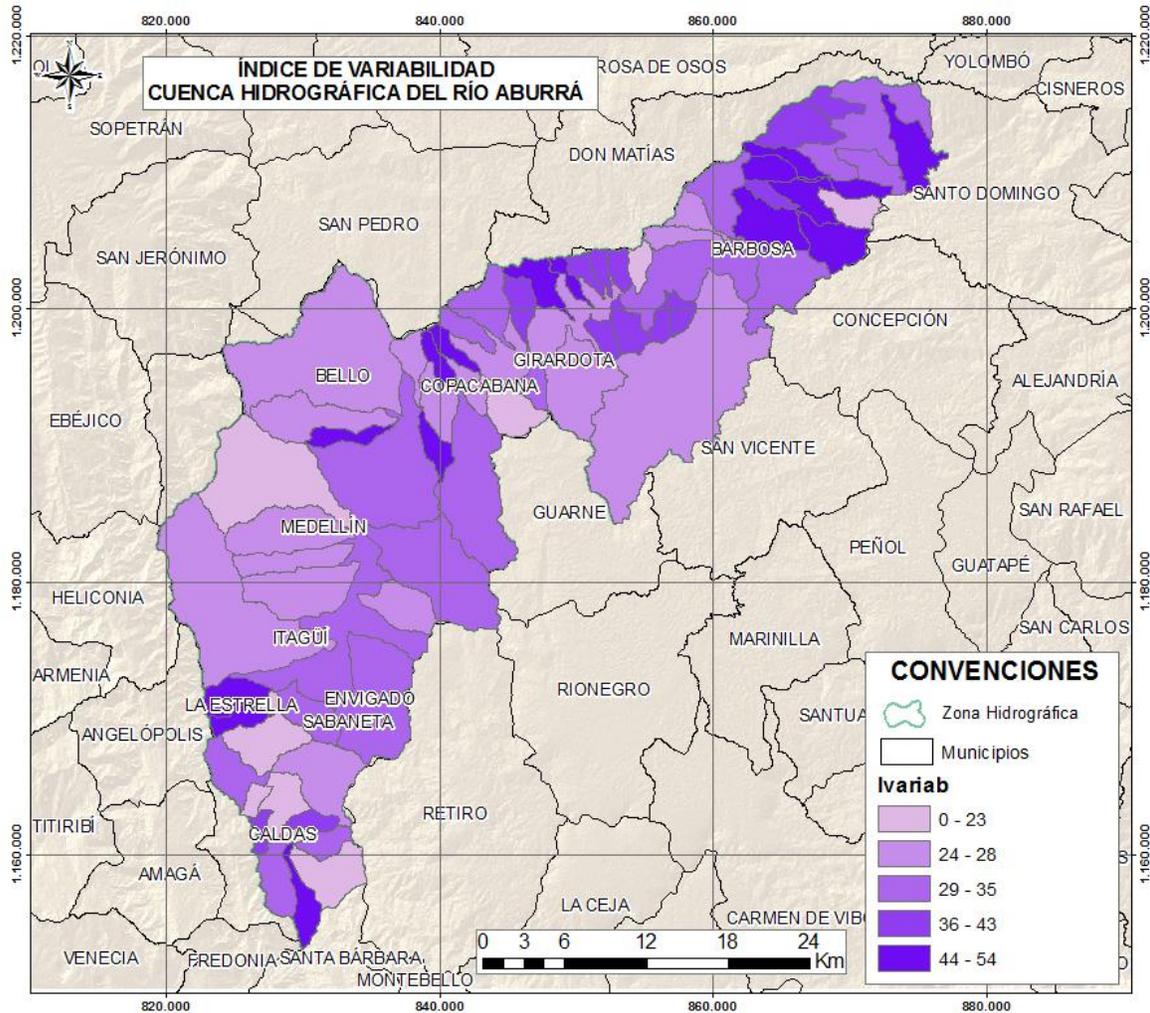


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Índice de variabilidad**

Tras evaluar cada una de las microcuencas, no se encontraron cambios muy bruscos en el caudal medido durante un intervalo de tiempo, por lo que el índice de variabilidad es moderado. A partir de estos valores, se asignan características de baja variabilidad a las subzonas hidrográficas, como se observa en la Figura 442.

FIGURA 442. ÍNDICE DE VARIABILIDAD DE CAUDAL EN MICROCUENCAS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Índice Morfométrico**

El índice morfométrico se estima teniendo en cuenta tres parámetros: densidad de drenaje, pendiente media y coeficiente de compacidad, como se ilustra en la *Figura 443*. Las microcuencas presentan alta densidad de drenaje, moderada densidad de disección y, según Horton, respuesta hidrológica rápida con grandes contrastes topográficos entre ellas. Las pendientes medias se caracterizan por ser accidentadas a fuertes pues tiene valores que oscilan entre 20% y 30%. En conjunto la alta densidad de drenaje, las pendientes medias y la tendencia a concentrar fuertes

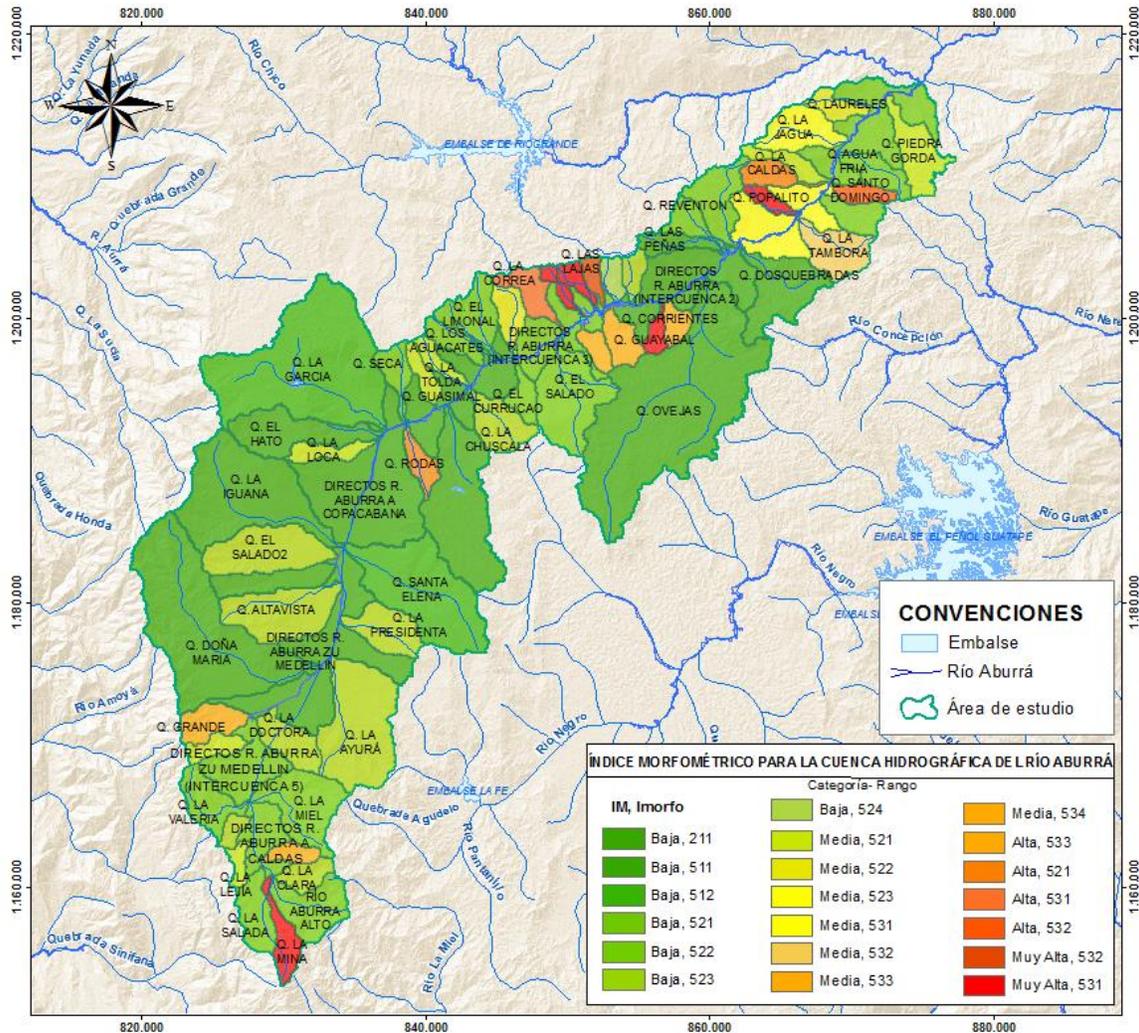
volúmenes de agua dotan a las microcuencas con medianos a altos índices morfométricos (Figura 444), que las condicionan favorablemente a presentar torrencialidad.

FIGURA 443. PARÁMETROS CONSIDERADOS EN EL ÍNDICE MORFOMÉTRICO



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 444. ÍNDICE MORFOMÉTRICO

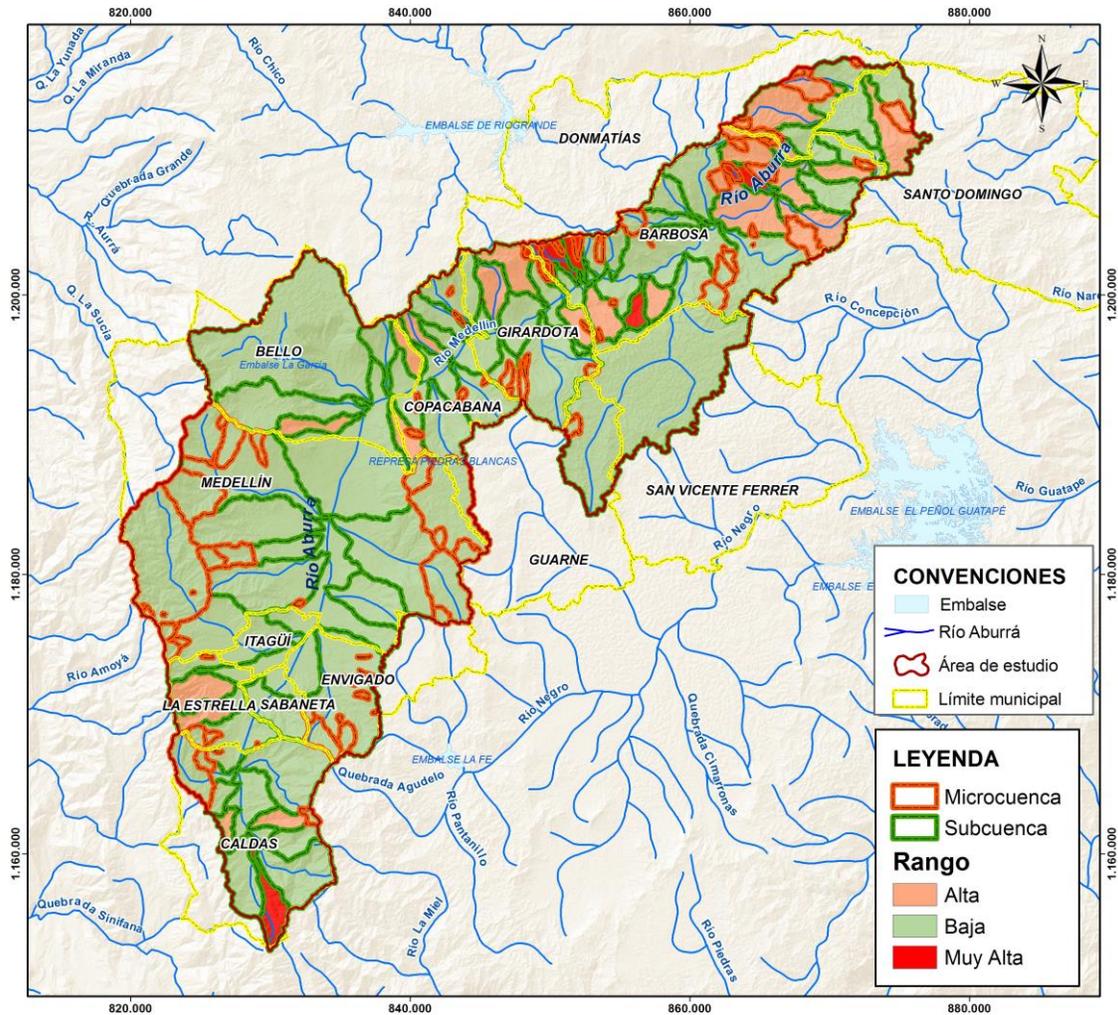


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ **Análisis de Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET)**

Teniendo en cuenta que el índice morfométrico presenta valores bajos a muy altos y que el índice de variabilidad es predominantemente medio y bajo, la mayoría de microcuencas que la integran tienen en general una baja susceptibilidad a presentar eventos torrenciales, como se observa en la Figura 445, mientras un grupo de ellas presenta susceptibilidad alta y muy alta.

FIGURA 445. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES (IVET)

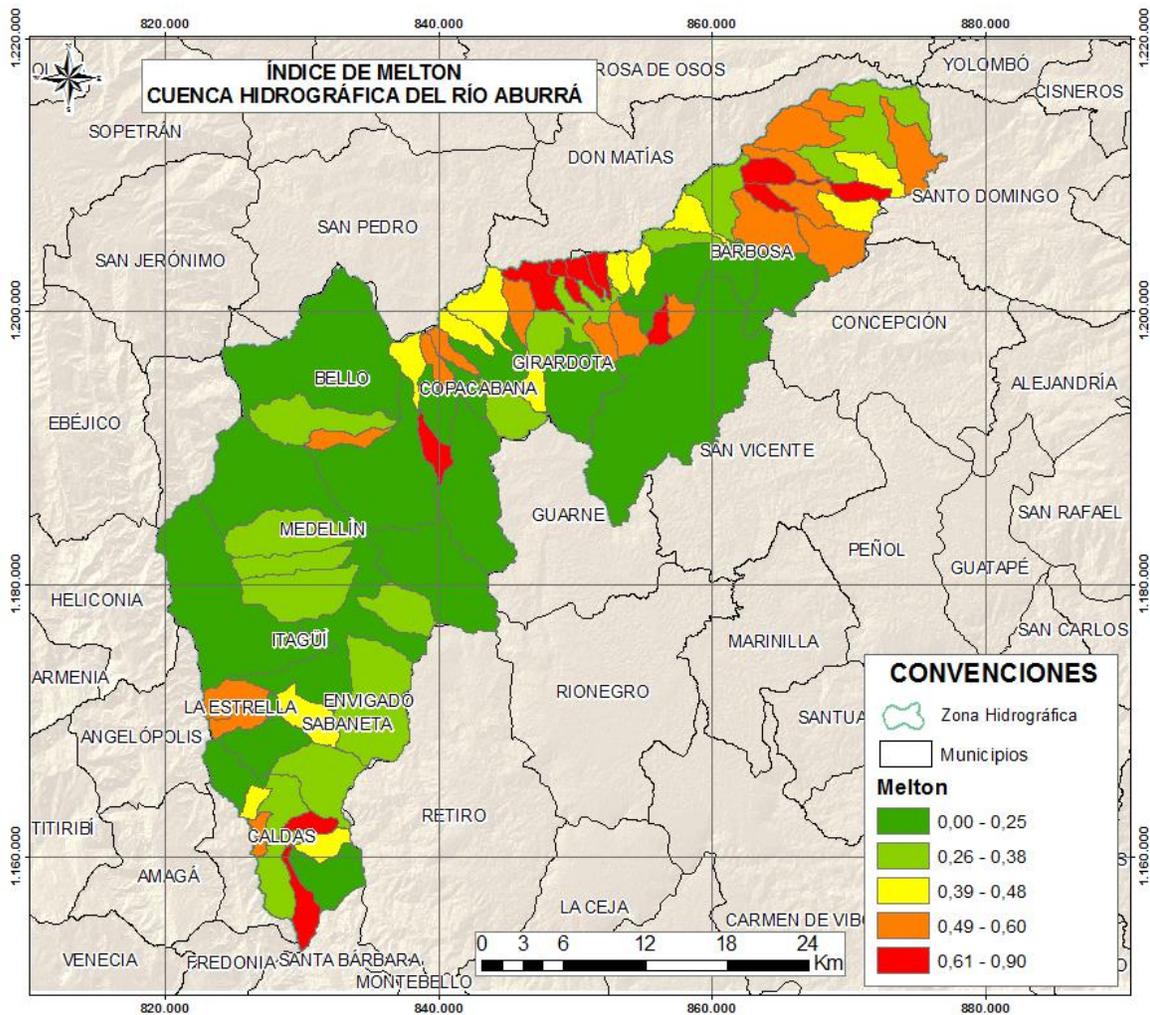


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.9.2.2. Índice de Melton (IM)

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca a presentar eventos torrenciales y permite comprender la influencia de la morfometría en la posible existencia de un evento torrencial. En general, los valores del índice de Melton obtenidos para las microcuencas que constituyen la cuenca hidrográfica del río Aburrá son medios o lo suficientemente relevantes para considerar evaluar la parte norte y sur de la cuenca por eventos torrenciales, asumiendo valores entre 0,01 y 0,90 (Figura 446).

FIGURA 446. MAPA DEL ÍNDICE DE MELTON



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

- Formato: Vector.
- Fuente: Componentes morfometría, hidrología e hidrografía actualización POMCA río Aburrá.

▪ **Subunidades geomorfológicas**

Corresponde a geoformas generadas a lo largo de un sistema fluvial como resultado de los procesos erosivos y de acumulación torrenciales que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012); siendo esta última característica y que permite determinar las áreas susceptibles a presentar un evento torrencial.

▶ **Eventos (LOC_AT)**

La existencia de eventos de avenida torrencial marca el valor de existencia de la misma y describe zonas susceptibles a presentar una avenida torrencial ya que han ocurrido dentro de la cuenca. La consolidación de esta información se realiza a partir de la revisión de fuentes secundarias y primarias en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar zonas de susceptibilidad por ocurrencia de eventos como complemento a las zonas de susceptibilidad por geomorfología e índices de torrencialidad, para así definir la zonificación definitiva de áreas susceptibles (*Figura 447*).

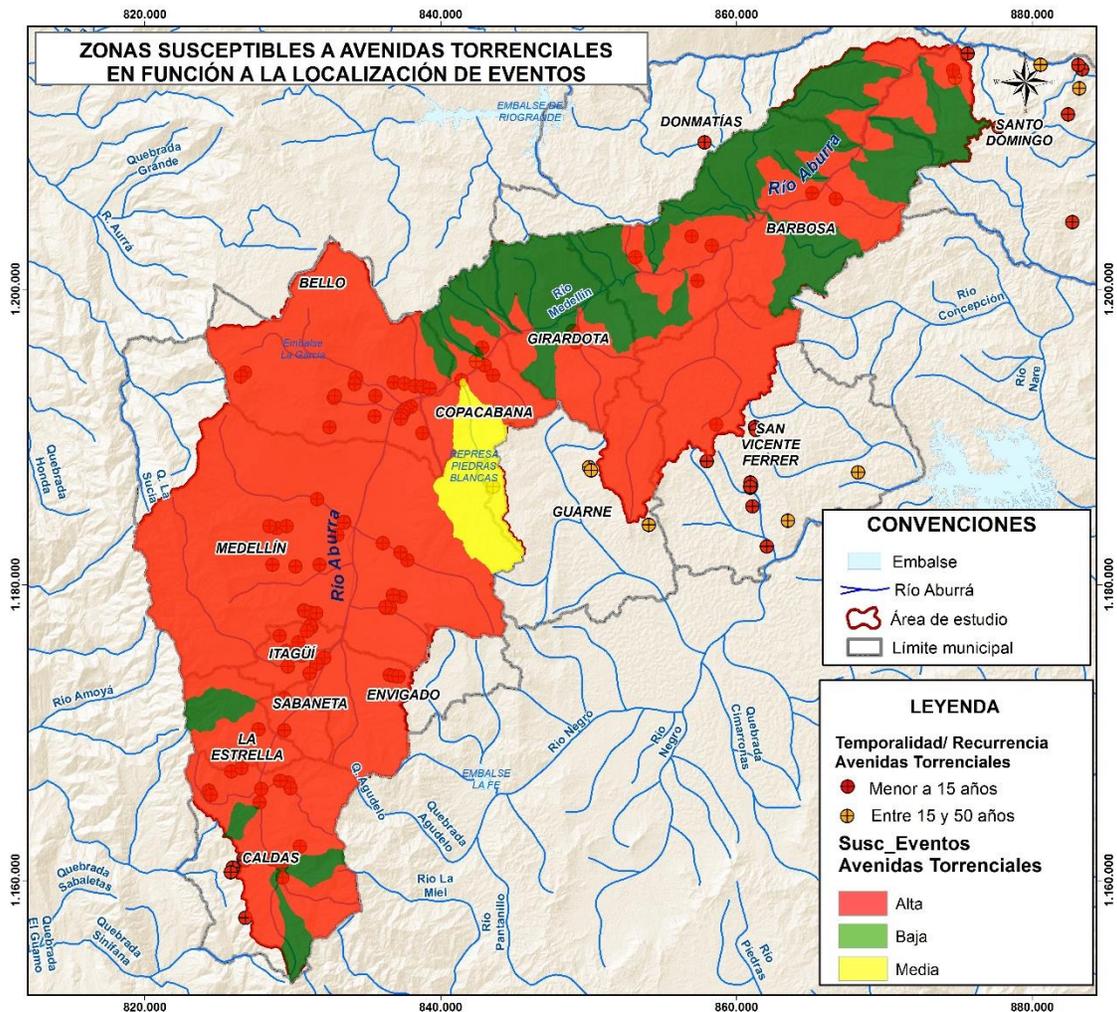
Este parámetro fue analizado con ayuda de la base de datos recolectada en campo y los eventos históricos reportados, los cuales se califican de acuerdo con su recurrencia (alta menor a 15 años; media entre 15 y 50 años, baja mayor a 50 años) como se observa en la *Tabla 589*.

TABLA 589. CATEGORIZACIÓN DE LA RECURRENCIA DE LOS EVENTOS DE AVENIDAS TORRENCIALES

TEMPORALIDAD DEL EVENTO HISTÓRICO	CLASIFICACIÓN
Menor a 15 años	Alta
Entre 15 y 50 años	Media
Mayor a 50 años	Baja

FUENTE: PROTOCOLO DE INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO, 2015

FIGURA 447. ZONAS DE SUSCEPTIBILIDAD POR AVENIDAS TORRENCIALES EN FUNCIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE EVENTOS

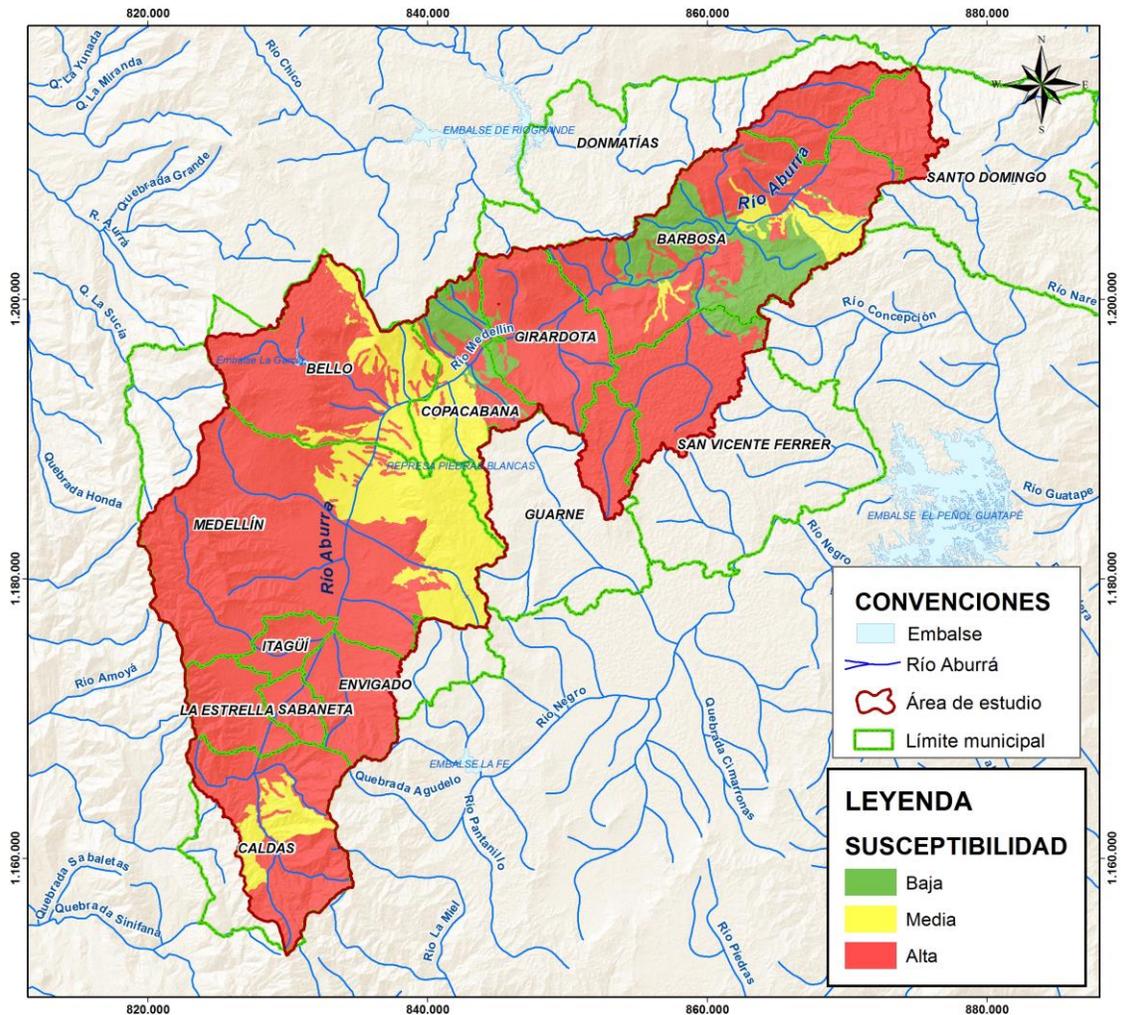


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ .2016

2.7.9.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales

Con base en los valores del Índice de Melton, el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET), la ausencia de subunidades geomorfológicas relacionadas con eventos de avenidas torrenciales y la presencia de eventos históricos, se categoriza en general a todas las microcuencas que componen la cuenca hidrográfica del río Aburrá con susceptibilidad baja, media, alta o muy alta por avenidas torrenciales (Figura 448).

FIGURA 448. SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.9.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por avenidas torrenciales

La zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se realizó con el propósito de determinar el grado de sedimentación necesaria para generar una avenida torrencial y la posible área afectada por la misma. La zonificación de la amenaza se efectuó en los siguientes pasos:

- Clasificar los drenajes de las microcuencas o subcuencas calificadas con susceptibilidad media, alta y muy alta.

- Identificar los drenajes con influencia de amenaza por movimientos en masa en las laderas con potencial de aportar materiales a las crecientes torrenciales.
- Identificar el punto de inflexión de la pendiente en donde ya no exista avance de material torrencial.

Cada uno de los drenajes que conforma las microcuencas susceptibles a eventos torrenciales, se calificaron según la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como factor que permite identificar la existencia de carga de sedimentos y arrastre de bloques, granos y escombros que contribuyen a la severidad del fenómeno, así como la condición de relieve para identificar la distancia de viaje o alcance.

2.7.9.5. Análisis de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales

Una vez identificada la susceptibilidad a avenidas torrenciales, las microcuencas pueden ser calificadas con amenaza media o alta en función de la existencia y temporalidad de eventos históricos (*Figura 449*).

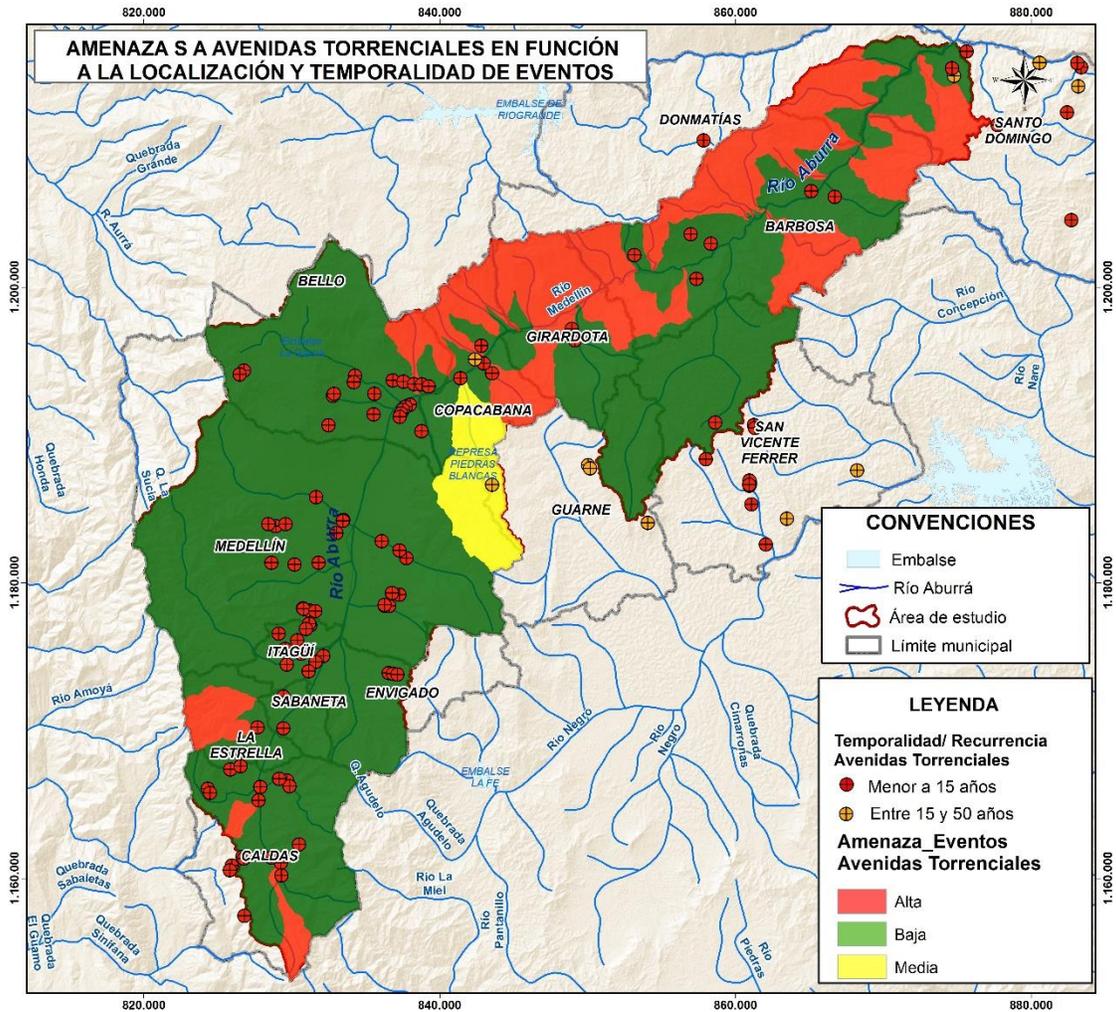
La amenaza por avenidas torrenciales no es propia de la microcuenca sino del cuerpo de agua directamente calificado como torrencial. Por lo tanto, para calificar la amenaza en los cuerpos de agua se debe tener en cuenta la susceptibilidad encontrada de la microcuenca, la influencia de la amenaza por movimientos en masa y la pendiente del terreno.

Los cuerpos de agua que tengan susceptibilidad media, alta o muy alta y que al tiempo se relacionen con zonas de amenaza media o alta por movimientos en masa, se califican con amenaza media o alta por avenidas torrenciales y baja si tienen alguna susceptibilidad, pero se relacionan con amenaza baja por movimientos en masa (*Figura 450*).

Para finalizar la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales, se tiene en cuenta el resto del área no contemplada en la zonificación por este tipo de fenómeno amenazante y se califica con amenaza baja (*Figura 451*).

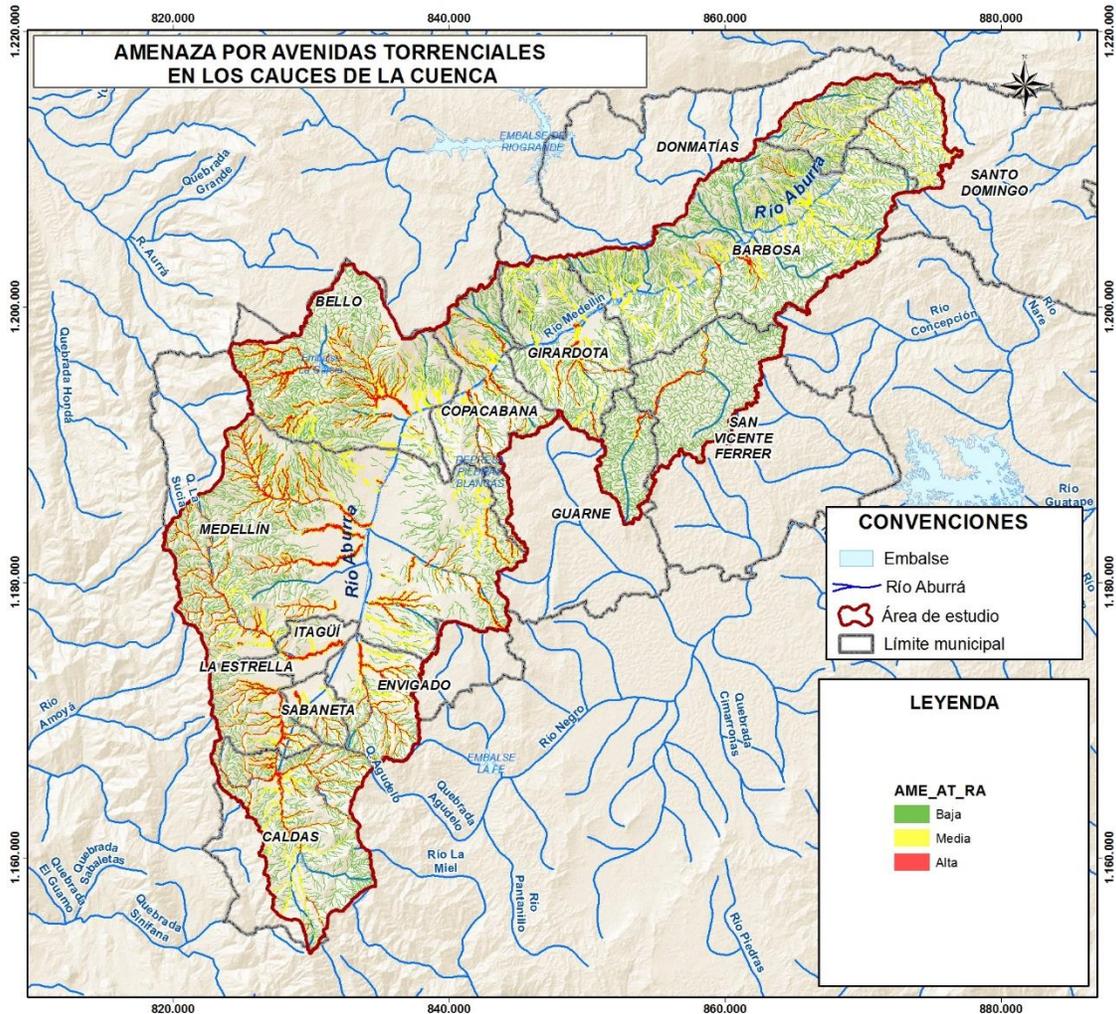
La información cartográfica se presenta en el *Anexo Cartografía Aburra 6 Salidas cartograficas 32B SC Indicador Amenaza Alta Media.*

FIGURA 449. AMENAZA A EVENTOS TORRENCIALES EN FUNCIÓN DE EXISTENCIA Y TEMPORALIDAD DE EVENTOS HISTÓRICOS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

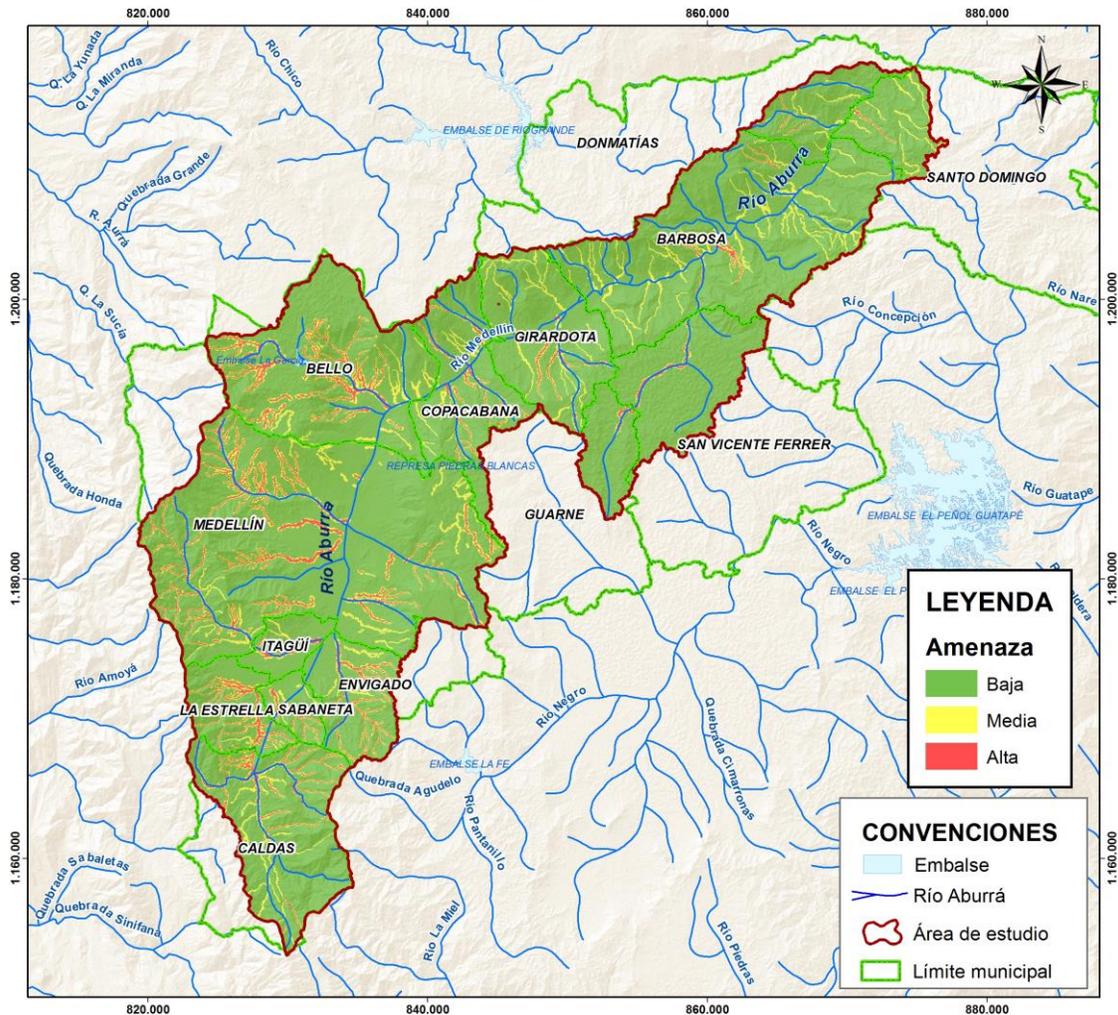
FIGURA 450. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CALIFICADAS EN CADA CUERPO DE AGUA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Los drenajes de la cuenca alta, principalmente de los municipios de Bello, Envigado, Caldas, Estrella y Angelópolis y la parte alta de la ciudad de Medellín presentan una calificación de amenaza alta y hacia el norte de la cuenca drenajes con condiciones de torrencialidad media. Es importante indicar que se deben evaluar aquellas subcuencas y cuerpos de agua que han quedado zonificados con amenaza alta, para determinar a una escala mayor la influencia de las fases sólidas en cada uno de ellos. Sobre todo zonas propensas morfométricamente a presentar un evento torrencial aun cuando no exista un reporte histórico de la misma.

FIGURA 451. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.10. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por incendios forestales

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, cada año en Colombia se ven afectadas en promedio 42.000 hectáreas por causa de incendios forestales (MAVDT, 2010), los incendios de coberturas vegetales son eventos que impactan de una manera en ocasiones irreversibles las condiciones de las cuencas hidrográficas, en general están asociados a descuidos y

malos hábitos de las personas, pero su propagación se hace casi incontenible cuando se presentan condiciones biofísicas particulares. Estos constituyen sucesos que afectan la ecología, la economía, los medios de vida y la seguridad de las comunidades, por lo cual su consideración es indispensable, de manera que se establezcan medidas de prevención, mitigación y concientización sobre los efectos y requerimientos de mejores prácticas en el manejo de las coberturas vegetales nativas y/o exóticas.

En el departamento de Antioquia, la afectación por incendios es recurrente aunque sus valores sean en número y afectación muy diferente a lo largo de las diferentes vigencias.

2.7.10.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad de las coberturas vegetales a incendios forestales

La zonificación de la susceptibilidad se realizó a través del análisis de las características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego dentro de la metodología establecida por el IDEAM en el Protocolo para La realización de mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011) y lo establecido en los Términos de Referencia para el desarrollo del POMCA, la escala de trabajo ha sido adaptada a 1:25.000 y el proceso metodológico ha sido ajustado de acuerdo a la disponibilidad de información y a las características particulares, que fueron valoradas independientemente, aplicando obteniendo calificaciones y, a partir de estas, zonificaciones parciales en términos de mayor o menor probabilidad de ser afectadas o de facilitar o dificultar la formación y/o propagación de incendios en la cobertura vegetal presente en el área objeto de estudio.

Luego de calificar y categorizar las variables implícitas en la evaluación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a sufrir un incendio forestal, se normalizan estas variables para facilitar el proceso de la implementación de la función de pesos para dicho modelo.

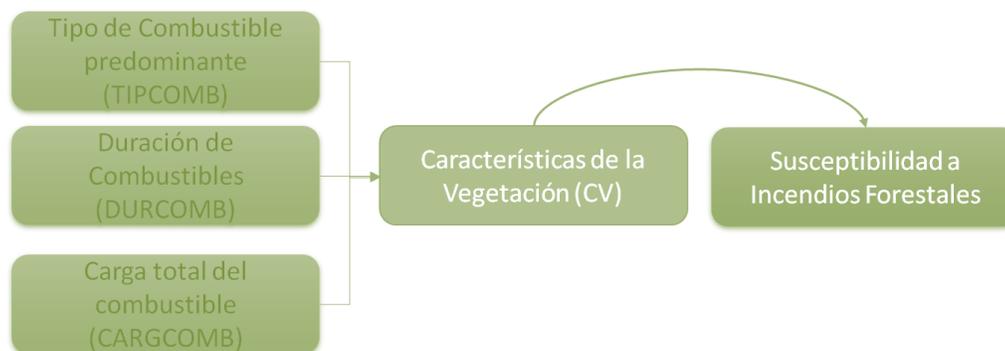
2.7.10.2. Descripción de las variables para obtener susceptibilidad a incendios forestales

La susceptibilidad de la cobertura vegetal se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo (2007), que representa la condición pirogénica de la vegetación colombiana, aspecto clave en la evaluación del comportamiento de nuestros ecosistemas

frente al fuego, tanto en el inicio de un incendio, como en la modelación del comportamiento del fuego, en caso de presentarse eventos de esta índole (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011). El modelo de combustibles implementado se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por los siguientes factores: (*Figura 452*)

- Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema: tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante.
- Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de combustible definido en horas de ignición (1 h, 10 h, 100 h).
- Carga total de combustibles: caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en t/ha.

FIGURA 452. VARIABLES QUE DETERMINAN A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA COBERTURA VEGETAL A SUFRIR INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

▪ Tipo de Combustible (CTC)

El tipo de combustible predominante (CTC) corresponde a la reclasificación del material vegetal vivo (predominante) en relación con la resistencia que este puede tener a la combustión, de acuerdo con su contenido de humedad, composición química, etc. Por lo tanto puede variar entre no combustibles a combustibles pesados (Parra Lara, 2011).

- Formato: Vector tipo Polígono.
- Fuente: Cobertura vegetal, Consultor.

Este parámetro fue analizado con base en la interpretación de la cobertura vegetal definidas por el Consorcio para el área de la cuenca hidrográfica del río Aburrá (*Tabla 590*).

TABLA 590. CALIFICACIÓN DE TIPO DE COMBUSTIBLE PARA LA COBERTURA VEGETAL

CÓDIGO DE COBERTURA	TIPO DE COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN CTC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
111	Áreas urbanas	1	Muy baja
112	Áreas urbanas	1	Muy baja
121	No combustibles	1	Muy baja
122	Áreas urbanas	1	Muy baja
131	No combustibles	1	Muy baja
132	No combustibles	1	Muy baja
141	Pastos	5	Muy alta
142	Pastos	5	Muy alta
211	Hierbas	4	Alta
221	Hierbas	4	Alta
222	Arbustos	4	Alta
223	Arboles	2	Baja
224	Pastos	5	Muy alta
225	Hierbas	4	Alta
231	Pastos	5	Muy alta
232	Pastos	5	Muy alta
233	Pastos	5	Muy alta
241	Hierbas	4	Alta
242	Pastos/hierbas	5	Muy alta
243	Pastos/hierbas	5	Muy alta
244	Pastos/hierbas	5	Muy alta
245	Pastos/hierbas	5	Muy alta
311	Arboles	2	Baja

CÓDIGO DE COBERTURA	TIPO DE COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN CTC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
312	Arboles	2	Baja
313	Arboles	2	Baja
314	Arboles	2	Baja
315	Arboles	2	Baja
321	Hierbas	4	Alta
322	Arbustos	4	Alta
323	Arboles/arbustos	3	Moderada
331	No combustibles	1	Muy baja
332	No combustibles	1	Muy baja
333	No combustibles	1	Muy baja
334	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja
512	No combustibles	1	Muy baja
513	No combustibles	1	Muy baja
514	No combustibles	1	Muy baja

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

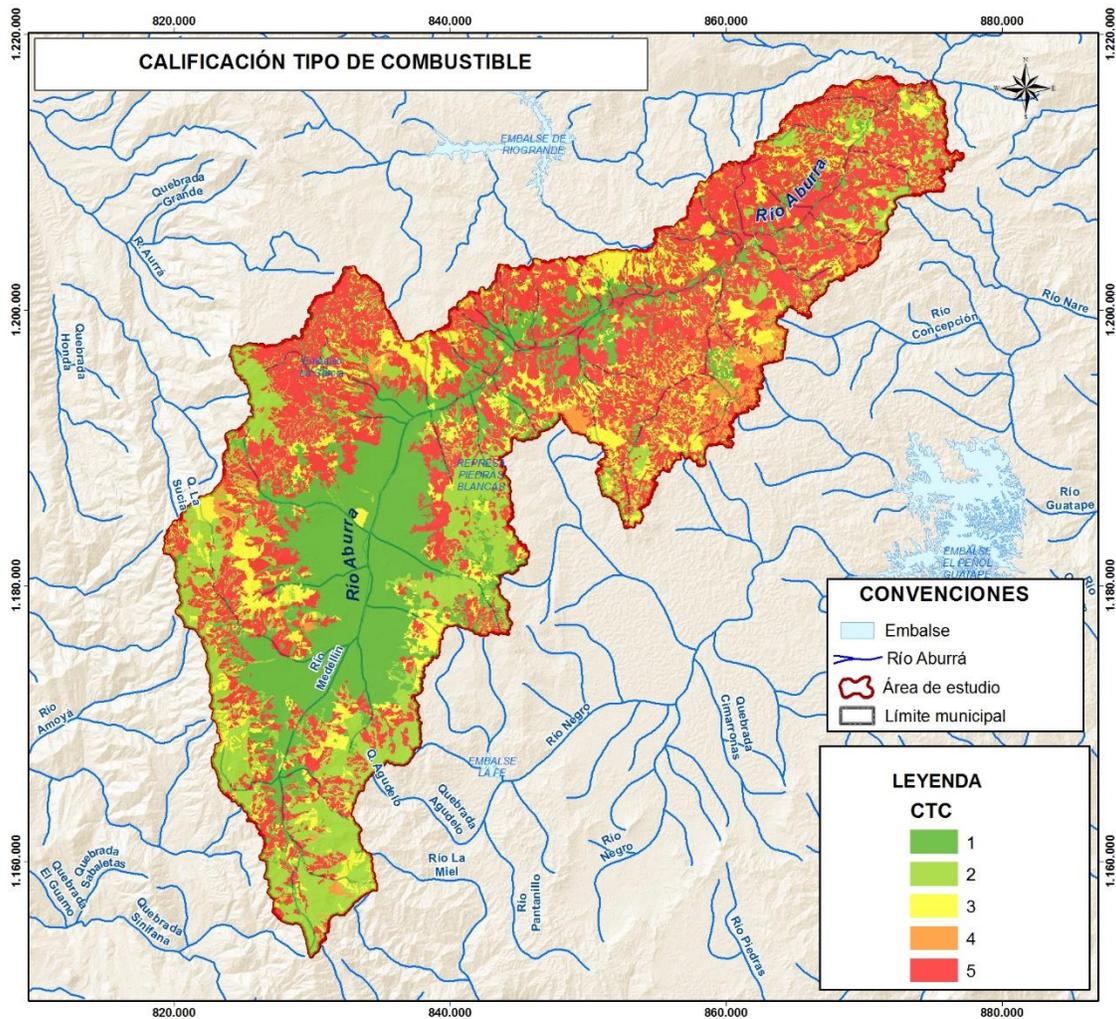
Los tipos de coberturas menos resistentes a procesos de combustión son aquellos cultivos o zonas de pastos con baja capacidad de retención de agua susceptibles al momento de comenzar un proceso de ignición (*Tabla 590*) y que se han desarrollado como resultado de condiciones de terreno que influye directamente en el tipo de vegetación presente en la cuenca hidrográfica del río Aburrá. Como se observa en la *Figura 453*, la parte media y alta de la cuenca presenta una muy alta susceptibilidad de la vegetación a estar sometida a procesos de combustión. En general, la cuenca cuenta con un tipo de vegetación muy susceptible a procesos de ignición.

▪ **Duración de los combustibles (CDC)**

Corresponde a la reclasificación de la vegetación de acuerdo a la duración del proceso de ignición que puede tener cada tipo de cobertura vegetal, a partir de características como la humedad y el

área foliar, pues la dificultad de control sobre un incendio es mayor cuando la cobertura se quema más rápido, es decir, cuando la rapidez de ignición del combustible es mayor. Por lo tanto, se reclasifica la vegetación desde no combustibles hasta combustibles con duración para su ignición entre 1 hora, 10 horas y 100 horas (Parra Lara, 2011) (*Figura 453*).

FIGURA 453. CALIFICACIÓN TIPO DE COMBUSTIBLE DE COBERTURAS VEGETALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río Aburrá interpretada y suministrada por el equipo consultor (*Tabla 591*).

- Formato: Vector tipo Polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

TABLA 591. DURACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA LA COBERTURA VEGETAL

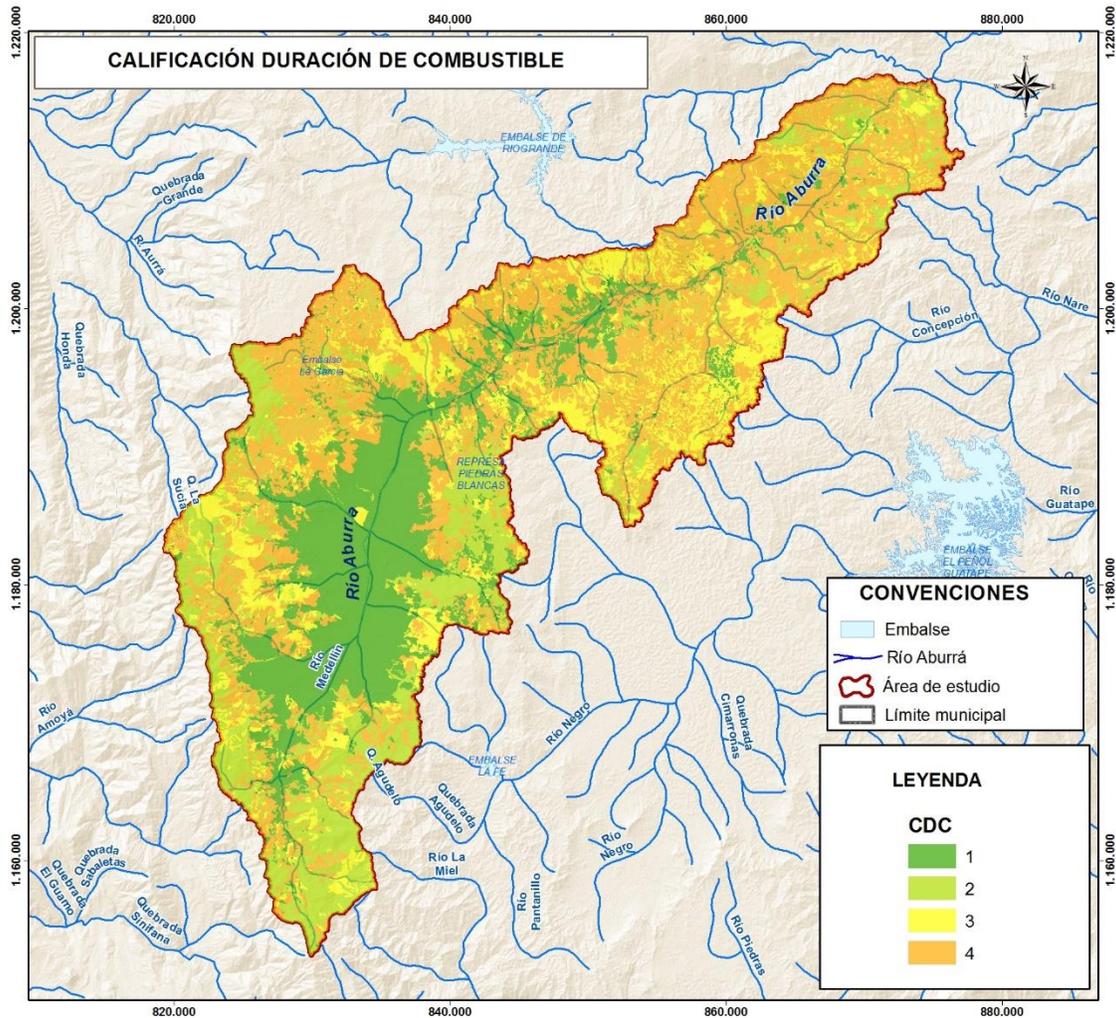
CÓDIGO DE COBERTURA	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN CDC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
111	Áreas urbanas	1	Muy baja
112	Áreas urbanas	1	Muy baja
121	No combustibles	1	Muy baja
122	Áreas urbanas	1	Muy baja
131	No combustibles	1	Muy baja
132	No combustibles	1	Muy baja
141	1 hora	4	Alta
142	1 hora	4	Alta
211	10 horas	3	Moderada
221	10 horas	3	Moderada
222	10 horas	3	Moderada
223	100 horas	2	Baja
224	1 hora	4	Alta
225	10 horas	3	Moderada
231	1 hora	4	Alta
232	1 hora	4	Alta
233	1 hora	4	Alta
241	10 horas	3	Moderada
242	1 hora	4	Alta
243	1 hora	4	Alta
244	1 hora	4	Alta
245	1 hora	4	Alta
311	100 horas	2	Baja

CÓDIGO DE COBERTURA	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN CDC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
312	100 horas	2	Baja
313	100 horas	2	Baja
314	100 horas	2	Baja
315	100 horas	2	Baja
321	10 horas	3	Moderada
322	10 horas	3	Moderada
323	10 horas	3	Moderada
331	No combustibles	1	Muy baja
332	No combustibles	1	Muy baja
333	No combustibles	1	Muy baja
334	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja
512	No combustibles	1	Muy baja
513	No combustibles	1	Muy baja
514	No combustibles	1	Muy baja

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

En donde los pastos y los mosaicos de cultivos (*Tabla 591*) presentan el menor tiempo de ignición, haciéndolos más susceptibles a propagar un incendio forestal. En la *Figura 454* se observa la enorme incidencia real que tienen las coberturas, que presentan una alta calificación en función del tiempo de ignición del material.

FIGURA 454. DURACIÓN DE COMBUSTIBLE DE COBERTURAS VEGETALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

▪ **Carga total de combustible (CCC)**

Se refiere al peso aproximado (relacionado con el grado de compactación y continuidad) de cada cobertura vegetal que corresponde al combustible predominante, asociado con sus características de altura, cobertura, biomasa y humedad de la vegetación, de acuerdo con un análisis multicriterio desarrollado en la metodología planteada por Parra Lara (2011) en el tomo 1 de su libro Incendios de la cobertura vegetal en Colombia.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: clasificación del tipo de cobertura vegetal.

Este parámetro fue analizado con base en el tipo de cobertura definida para el área de la cuenca hidrográfica del río Aburrá, interpretada y suministrada por el equipo consultor (*Tabla 592*).

TABLA 592. CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE PARA LA COBERTURA VEGETAL

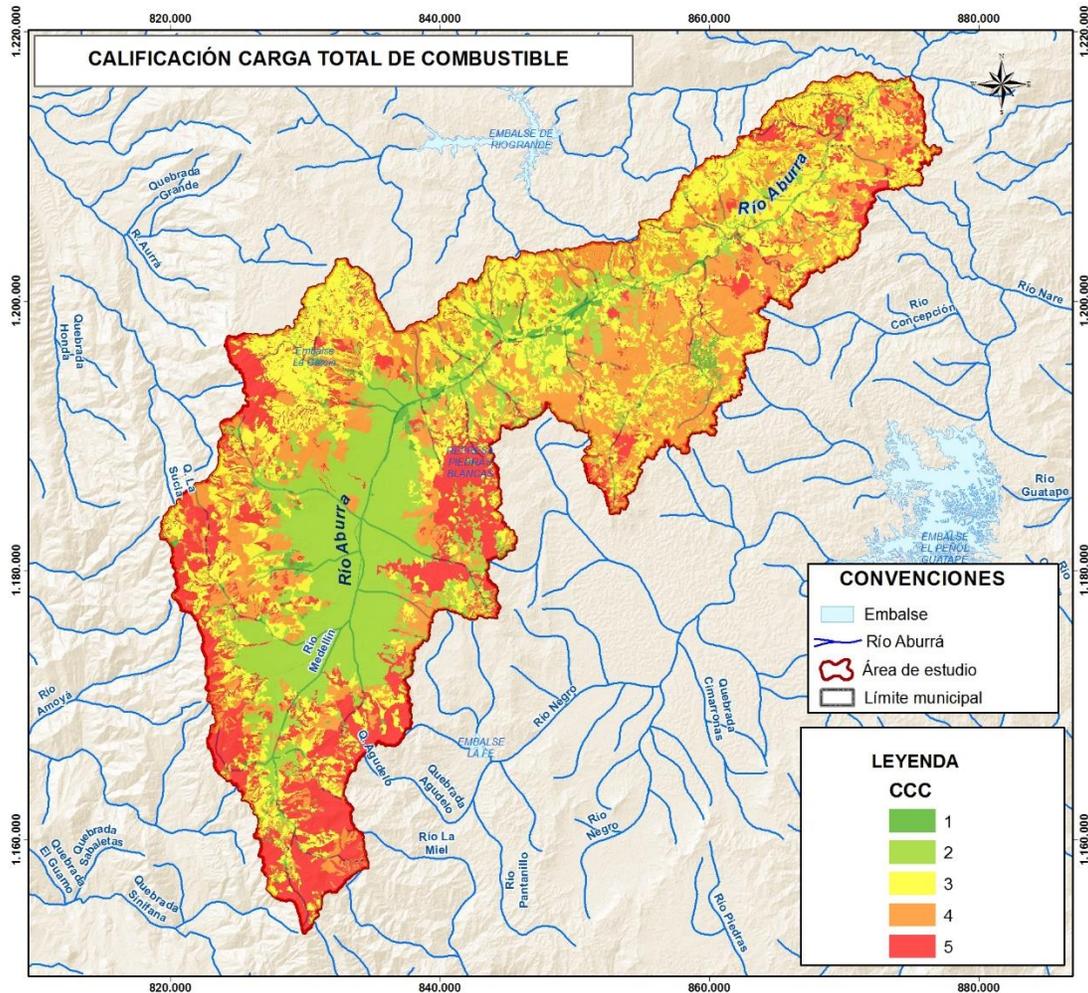
CÓDIGO DE COBERTURA	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN CCC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
111	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Baja
112	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Baja
121	No combustibles	1	Muy baja
122	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Baja
131	No combustibles	1	Muy baja
132	No combustibles	1	Muy baja
141	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
142	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
211	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
221	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
222	Moderada (50-100 ton/ha)	4	Alta
223	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5	Muy alta
224	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
225	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
231	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
232	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
233	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
241	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
242	Moderada (50-100 ton/ha)	4	Alta

CÓDIGO DE COBERTURA	CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE	CALIFICACIÓN CCC	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
243	Moderada (50-100 ton/ha)	4	Alta
244	Moderada (50-100 ton/ha)	4	Alta
245	Moderada (50-100 ton/ha)	4	Alta
311	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5	Muy alta
312	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5	Muy alta
313	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5	Muy alta
314	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5	Muy alta
315	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5	Muy alta
321	Baja (1-50 ton/ha)	3	Moderada
322	Moderada (50-100 ton/ha)	4	Alta
323	Moderada (50-100 ton/ha)	4	Alta
331	No combustibles	1	Muy baja
332	No combustibles	1	Muy baja
333	No combustibles	1	Muy baja
334	No combustibles	1	Muy baja
411	No combustibles	1	Muy baja
511	No combustibles	1	Muy baja
512	No combustibles	1	Muy baja
513	No combustibles	1	Muy baja
514	No combustibles	1	Muy baja

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

Los bosques, las plantaciones forestales y los cultivos permanentes arbustivos identificados en la cuenca del río Aburrá presentan los mayores rangos de carga de combustible, como se observa en la Tabla 592 que, a su vez, cuentan con una alta distribución espacial a lo largo de la cuenca (Figura 455).

FIGURA 455. CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLE DE COBERTURAS VEGETALES



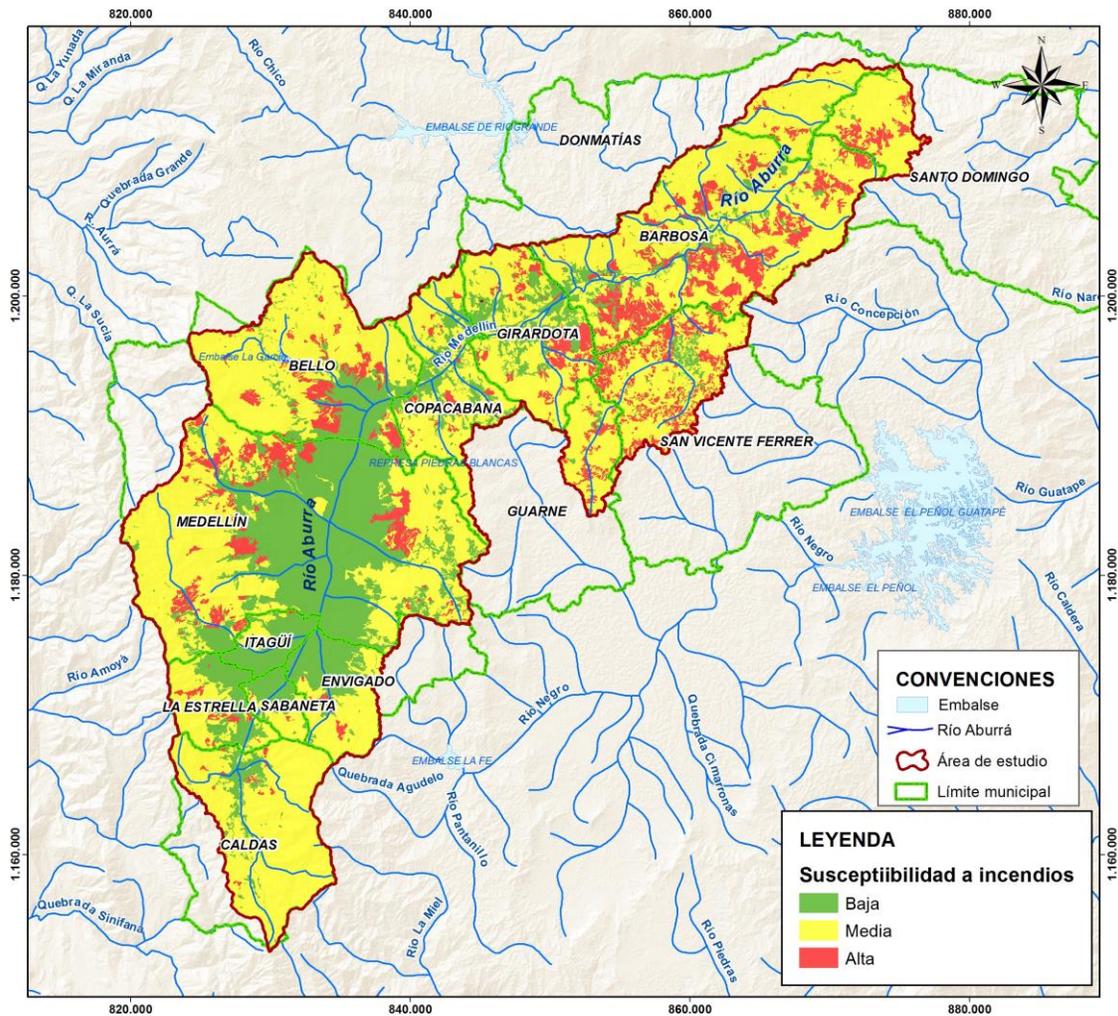
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

2.7.10.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a incendios forestales

Para el análisis de la caracterización de las coberturas vegetales susceptibles a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Aburrá, el modelo de susceptibilidad se obtuvo por medio de la integración de la información referente a los factores condicionantes de la vegetación a sufrir un proceso de ignición (carga total combustible, duración y tipo del combustible), por medio de la integración (cruce) de todas variables normalizadas de la vegetación susceptible a incendios forestales.

Con base en las zonas susceptibles a incendios forestales, se agrupa en tres categorías (agrupando alta y muy alta, baja y muy baja), en general la cuenca hidrográfica del río Aburrá con 13440,09 hectáreas en susceptibilidad alta (11% aproximado), 78449,05 hectáreas en susceptibilidad media (65%) y 28831,71 hectáreas en susceptibilidad baja (24%) por incendios forestales (*Figura 456*).

FIGURA 456. SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

Los pastos que se caracterizan por ser un tipo de vegetación de alta carga, buena combustión y duración de la misma. Los bosques con espacios naturales y la vegetación secundaria alta y baja

son coberturas con un combustible de moderada a baja categoría de amenaza y de moderada duración de carga de combustión. Los cultivos presentan un tipo de combustible de categoría moderada y una duración de combustión moderada a baja. Basados en estos valores, la cuenca presenta una cobertura vegetal muy susceptible a inicio de eventos de ignición y a su posterior propagación por la presencia de materiales que se caracterizan por tener una carga alta de material combustible los cuales son de larga duración de ignición.

Los bosques, pastos y vegetación secundaria categorizados como la vegetación que aportan los aumentos más altos en los valores de la susceptibilidad, se encuentran localizados primordialmente en las zonas bajas, sin muchas variaciones topográficas y cercanas a los caudales principales, coincidiendo con la zona de mayor susceptibilidad a incendios forestales por condiciones climáticas (precipitación y clima).

2.7.10.4. Descripción metodológica para obtener amenaza por incendios forestales

La zonificación de la amenaza por incendios forestales se realizó teniendo en cuenta que la susceptibilidad de la vegetación se ve afectada por factores externos de tipo climático, histórico, de relieve y de la condición de accesibilidad que están íntimamente ligados a ella generando variaciones intrínsecas de sus cualidades principalmente en lo que hace referencia al grado de afectación y variación de las características intrínsecas a la dinámica de la cuenca para potenciar o disminuir el avance de un incendio forestal.

Luego de analizar, categorizar y normalizar las variables intrínsecas en la evaluación de la amenaza a incendios forestales, se utiliza la función de pesos descrita en el Protocolo para La realización de mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

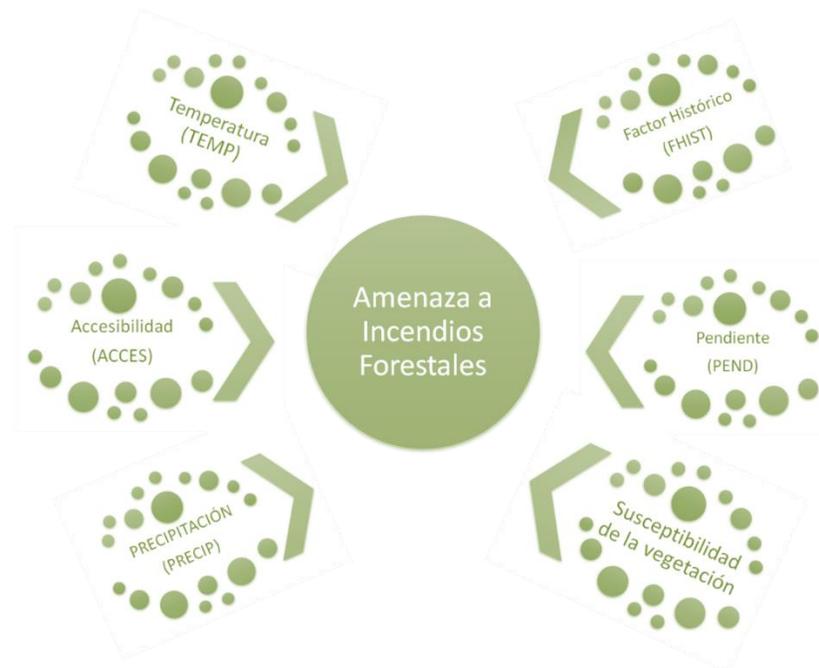
$$\text{AMENAZA_IF} = (\text{SUSCEPTIBILIDAD} * 0.17) + (\text{TEMPERATURA} * 0.25) + (\text{PRECIPITACIÓN} * 0.25) + (\text{ACCESIBILIDAD} * 0.03) + (\text{PENDIENTES} * 0.03) + (\text{FACTOR HISTÓRICO} * 0.2259)$$

Finamente, se procede a realizar el análisis de la zonificación de la amenaza por incendios forestales.

2.7.10.5. Descripción de las variables de amenaza por incendios forestales

Las variables que se tuvieron en cuenta para definir la amenaza a incendios forestales en la cuenca hidrográfica del río Aburrá son aquellos factores que contribuyen y detonan un evento por este tipo de amenaza (*Figura 457*).

FIGURA 457. VARIABLES PARA LA MODELACIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

▪ **Precipitación (PRECIP)**

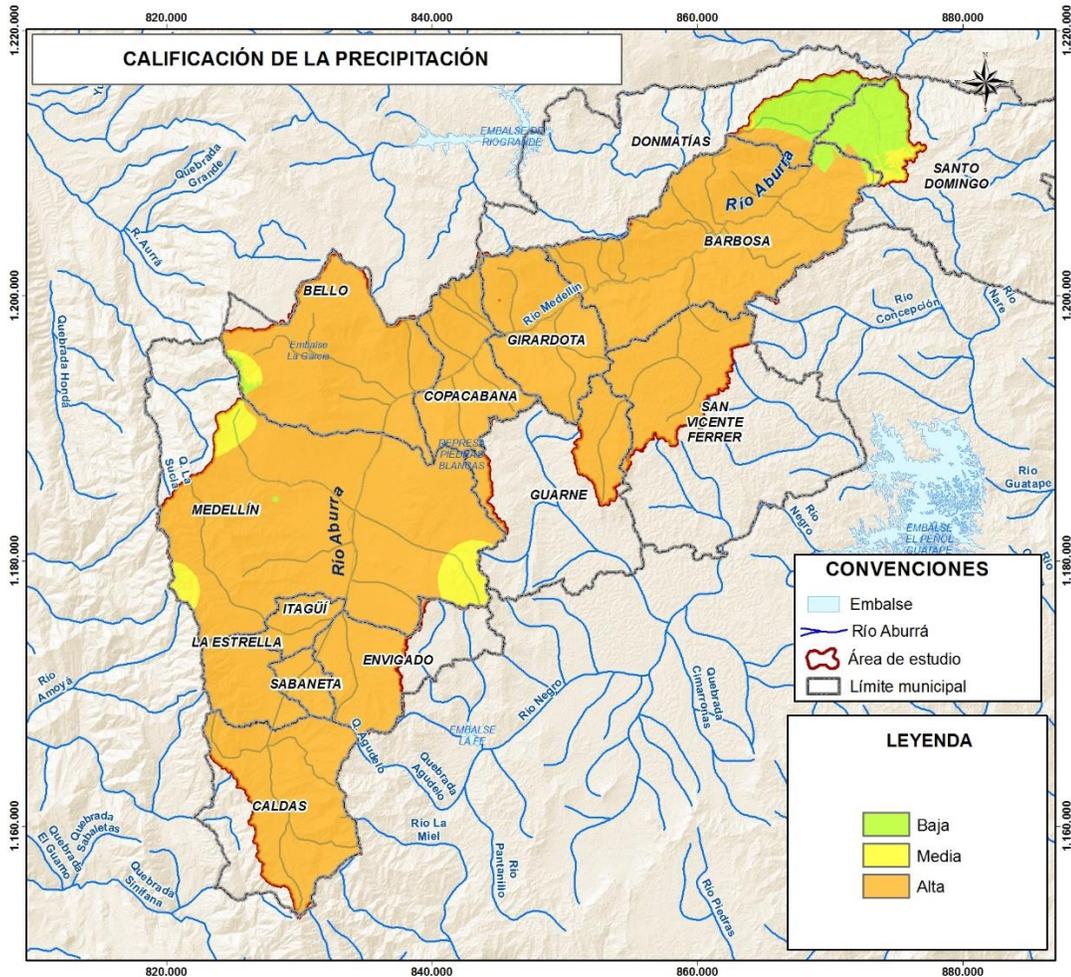
Como fue descrita en la susceptibilidad, las bajas precipitaciones presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodríguez, Rodríguez-Urbieto, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015), e incluida dentro de la amenaza por participar como un factor detonante. La precipitación corresponde a una característica cuantitativa que mide la cantidad de lluvia en milímetros acumulada, esta variable tiene una alta importancia dentro de la susceptibilidad para incendios forestales ya que en la medida en que un territorio tenga épocas secas prolongadas, presenta un aumento en la tasa de incendios forestales registrados (*Tabla 593, Figura 458 y Figura 460*).

FIGURA 458. CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA (PRECIPITACIÓN) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

FIGURA 459. CALIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

TABLA 593. INDICADOR PRECIPITACIÓN

Precipitación media anual (mm)	Categoría de Amenaza	Calificación
1000-2000 mm	Alta	4
3000-7000mm	Moderada	3
>7000 mm	Baja	2

FUENTE: IDEAM, 2011

Uno de los factores más relevantes a tener en cuenta en la evaluación de amenazas de incendios de la capa vegetal es la precipitación. La humedad permite que una capa vegetal sea más o menos resistente a la generación de procesos de ignición, lo que implica una mayor disponibilidad de material combustible. La cuenca hidrográfica del río Aburrá presenta en general calificaciones de precipitación altas a lo largo del territorio, factor condicionante al momento de presentarse un incendio de la vegetación.

▪ **Temperatura (TEMP)**

Como fue descrita en la susceptibilidad, las altas temperaturas presentan una importante relación con la ocurrencia de incendios (Moreno Rodriguez, Rodriguez-Urbieta, Zabala Espiñeira, & Martín, 2015) y se incluyen dentro de la amenaza por participar como un factor detonante relativo. La temperatura corresponde a una característica cualitativa que mide el grado de calor, esta variable tiene alguna importancia dentro de la susceptibilidad para incendios forestales, debido a que se cree que “las radiaciones térmicas producidas por su aumento, al llegar a una longitud de onda determinada producen un fenómeno luminoso que se conoce como llama” (Dirección General de Protección Civil y emergencias - España). Esta variable se trabaja sobre la temperatura media anual de acuerdo con la disponibilidad de información (*Tabla 594, Figura 460 y Figura 461*).

FIGURA 460. CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA (TEMPERATURA) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



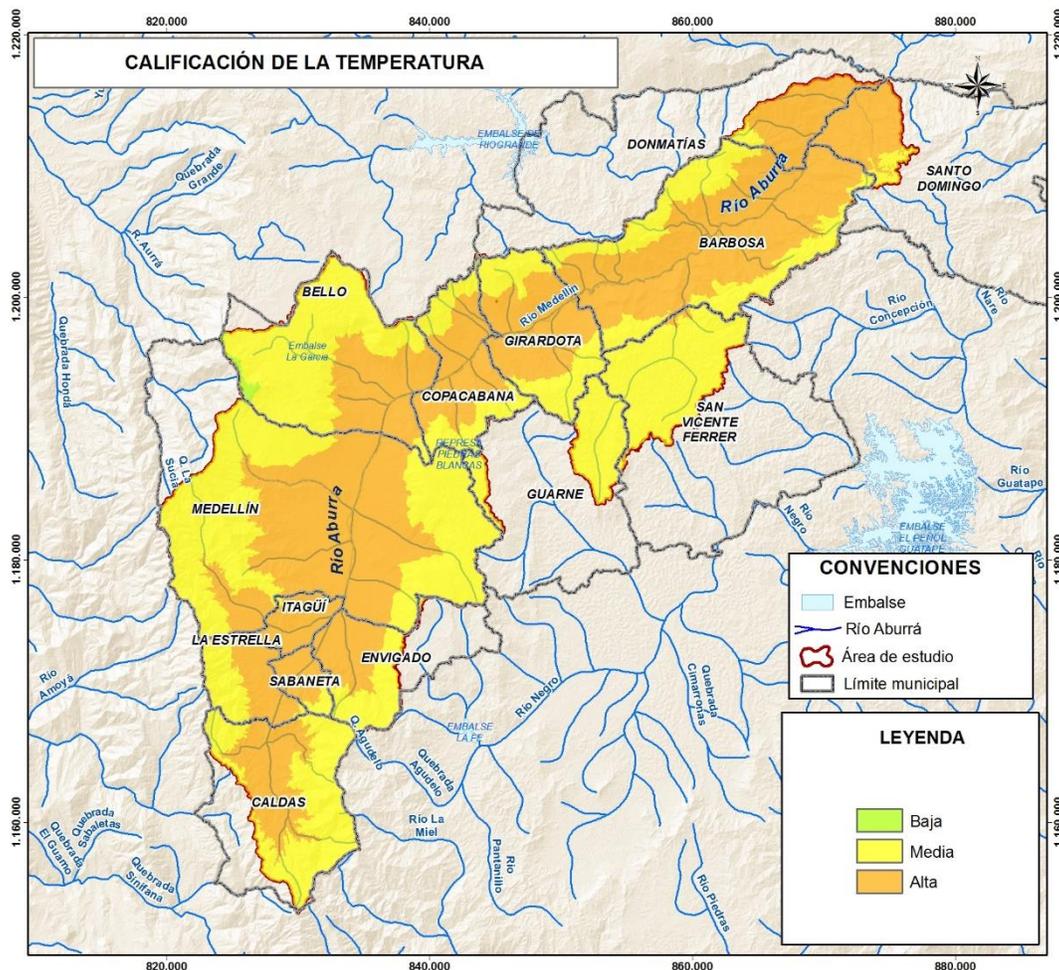
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

TABLA 594. INDICADOR TEMPERATURA

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Extremadamente frio (<1.5 – 6)	Muy baja	1
Muy frio (6 – 12)	Baja	2
Frio (12 – 18)	Moderada	3
Templado (18 – 24)	Alta	4
Cálido (> 24)	Muy alta	5

FUENTE: IDEAM, 2011

FIGURA 461. CALIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

Junto a la precipitación la temperatura, según la metodología del IDEAM, es uno de los factores más relevantes a tener en cuenta en la evaluación de amenazas de incendios de la capa vegetal, ya que adicionalmente a ser responsable de generar el fenómeno luminoso, capaz de iniciar fenómenos de ignición, esta interviene directamente sobre la humedad del sector y la cantidad de combustible disponible para iniciar una ignición. La cuenca hidrográfica del río Aburrá se caracteriza por tener un clima cálido a templado, con valores promedios de temperatura cerca a los 16°C.

▪ **Pendiente (PEND)**

La Tasa de dispersión (TDISP) es la variable asociada directamente con la pendiente (PEND), con la que se busca evaluar la inclinación del suelo, cuyo aumento presenta una relación con la ampliación del área del incendio o la llamada tasa de dispersión del fuego (Butler, Anderson, & Catchpo, 2007). A mayores pendientes la propagación del fuego se acelera, debido a que las llamas tienen una mayor proximidad a los combustibles (como la materia vegetal), el precalentamiento del combustible es más rápido y se genera con más facilidad la columna de convección (Boulandier, Esparza, Garayoa, Orta, & Anitua, 2001) (*Tabla 595, Figura 462 y Figura 463*).

FIGURA 462. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS (PENDIENTE) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



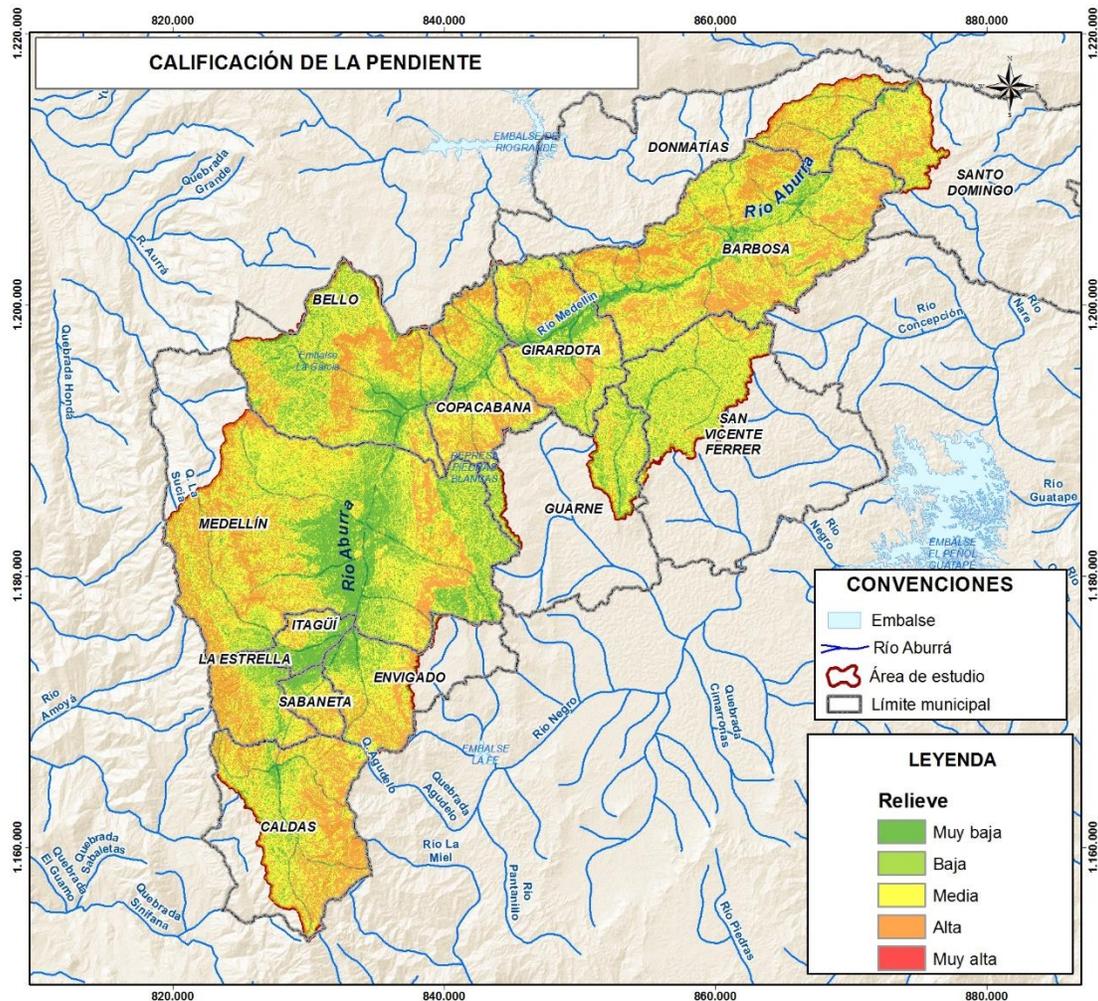
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

TABLA 595. INDICADOR TASA DE DISPERSIÓN.

Pendiente media (%)	Categoría de Amenaza	Calificación
0 – 7	Muy baja	1
7– 12	Baja	2
12 – 25	Moderada	3
25 – 75	Alta	4
>75	Muy alta	5

FUENTE: IDEAM, 2011

FIGURA 463. CALIFICACIÓN DE LA PENDIENTE (RELIEVE) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

La cuenca hidrográfica presenta contrastes de relieves muy escarpados en gran parte de la misma y suaves y moderados hacia el oeste y sur de la misma, en donde predominan los cuerpos de agua mayores del área de estudio. En proporción, predominan los relieves moderados y altos con pendientes entre el 13 y 45%.

▪ **Accesibilidad (ACCES)**

La accesibilidad se mide como la distancia a las vías y como esta corresponde a la zonas en la que se concibe presencia antrópica, debido a la facilidad de acceso que genera; el área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole un peso de 5 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. Este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio (**Tabla 596, Figura 464 y Figura 465**).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: IGAC escala 25.000.

FIGURA 464. CARACTERÍSTICAS DE PROXIMIDAD (ACCES) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



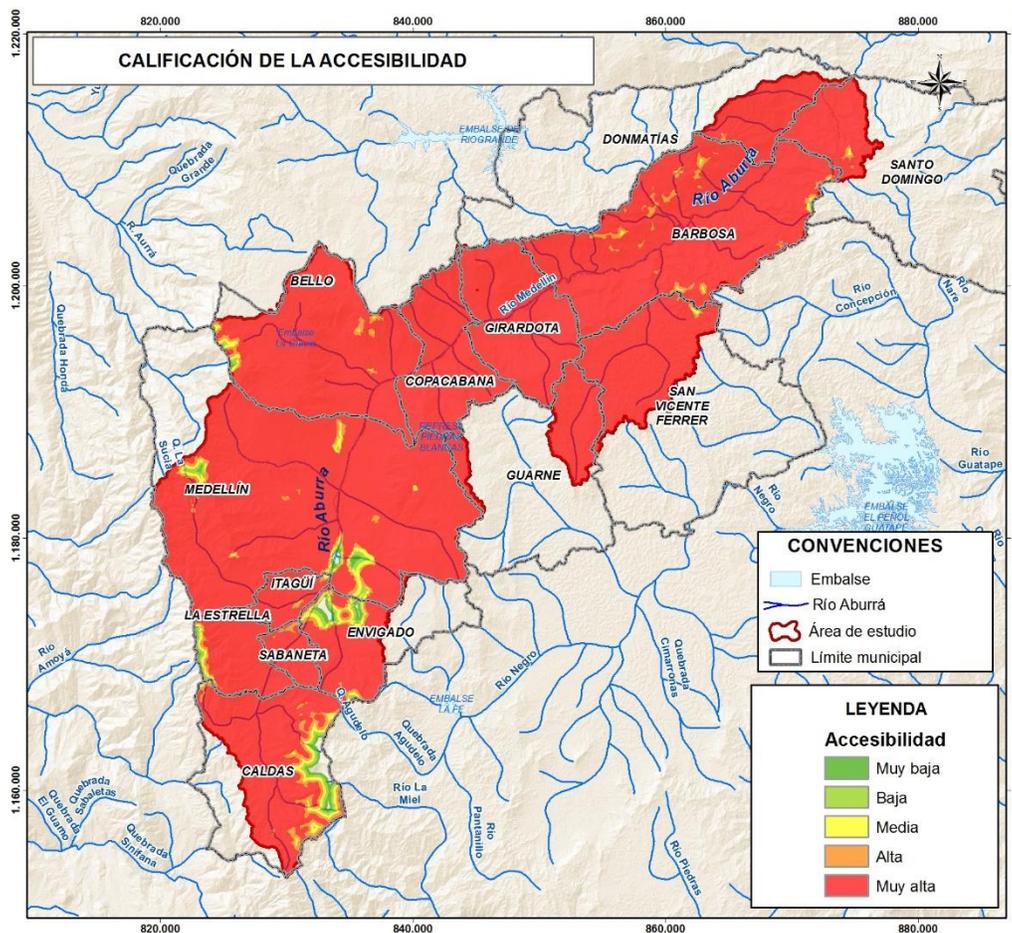
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

TABLA 596. INDICADOR DISTANCIA A VÍAS.

DISTANCIA A LA VÍA			CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Primaria	Secundaria	Terciaria		
0-200	0 - 600	0-1000	Muy Alta	5
200 - 300	600 - 900	1000 - 1500	Alta	4
300-400	900 - 1200	1500-2000	Moderada	3
400 - 500	1200 - 1500	2000 - 2500	Baja	2
Más de 500	Más de 1500	Más de 2500	Muy Baja	1

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

FIGURA 465. CARACTERÍSTICAS DE PROXIMIDAD (ACCES) EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

▪ **Factor Histórico (FHIST)**

La incorporación de información del carácter histórico sobre los incendios forestales en la evaluación de la amenaza se realiza a partir de la consolidación de la información con la revisión de fuentes secundarias, en las que se describe su ubicación por asociación a proximidad de puntos o zonas de referencia. Permite identificar eventos de incendios forestales basados en la frecuencia de ocurrencia de los mismos, descritos con mayor detalle el capítulo de análisis de eventos por incendios forestales. En este factor, se observa una alta frecuencia de eventos históricos por incendios forestales en la ciudad de Medellín y una frecuencia moderada en los municipios de Don

Matías y Copacabana con gran afectación de la cobertura vegetal (*Tabla 597, Figura 466 y Figura 467*).

FIGURA 466. FACTOR HISTÓRICO EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



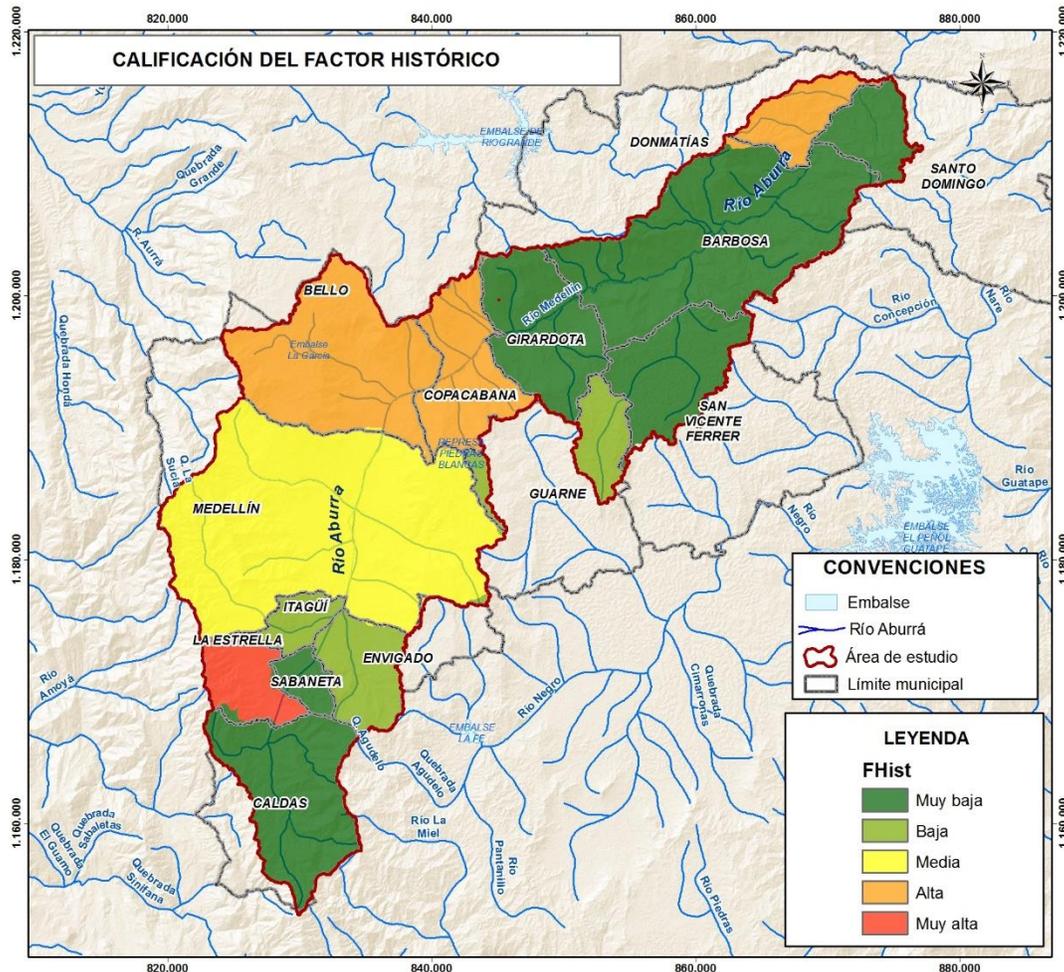
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

TABLA 597. CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DEL FACTOR HISTÓRICO EN FUNCIÓN DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

MUNICIPIO	FHIST
BARBOSA	0,02
BELLO	0,8
CALDAS	0,02
COPACABANA	0,7
DONMATÍAS	0,8
ENVIGADO	0,35
GIRARDOTA	0
GUARNE	0,23
ITAGÜÍ	0,23
LA ESTRELLA	1
MEDELLÍN	0,45
SABANETA	0,02
SAN VICENTE FERRER	0
SANTO DOMINGO	0

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

FIGURA 467. CALIFICACIÓN DEL FACTOR HISTÓRICO EN FUNCIÓN A LA AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ 2016

2.7.10.6. Análisis de la zonificación de la amenaza a incendios forestales

En virtud de los factores condicionantes y detonantes a la ocurrencia de un incendio forestal sumados a la susceptibilidad de la vegetación a presentar un evento de ignición, se obtiene el mapa de amenaza a incendios forestales (*Figura 468*). La amenaza alta a incendios de la cobertura vegetal se concentra en la cuenca alta, en el resto de la cuenca media y en algunos sectores y cuerpos de agua baja, obteniendo el 23% del área de la cuenca en una categoría alta. El 51,6% del total de la cuenca se encuentra en amenaza media a incendios forestales. Finalmente, la amenaza

proporción), accesibilidad (alta y muy alta), pendiente (moderada) y factor histórico predominantemente alto a moderado.

Dado que la cuenca hidrográfica cuenta con calificaciones de amenaza por incendios forestales media y alta, se debe tener en cuenta esta como una de las amenazas a priorizar dentro de la ejecución de planes orientados a la mitigación del riesgo.

La información cartográfica se presenta en el *Anexo Cartografía Aburra 6 Salidas cartográficas 32B SC Indicador Amenaza Alta Media.*

2.7.11. Análisis de las condiciones de vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un factor intrínseco del riesgo que permite analizar los diversos escenarios de las diversas amenazas de forma integral, puesto que cuando se analiza únicamente la amenaza quedan excluidos factores que caracterizan a los diversos actores del riesgo y su relación con la dinámica de la cuenca. Es imprescindible evaluar la afectación, de manera que las posibles consecuencias no solo estén relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el mismo en la zona de estudio, por ende se hace necesario determinar la zonificación de vulnerabilidad a través de tres indicadores: exposición, fragilidad y falta de resiliencia. “La vulnerabilidad es el factor del riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. El análisis del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

La estimación de las condiciones de vulnerabilidad se desarrolla con enfoque semicuantitativo definido a partir de los alcances de la información existente. Esta información permite caracterizar en distintas escalas (municipio, vereda, corregimiento, comuna, barrio) la condición socioeconómica de la población, la capacidad de respuesta institucional y comunitaria, estimar la fragilidad ecosistémica y valorar el uso y ocupación de las áreas de la cuenca. En contraste, existe la limitación de ausencia de datos de costos de la tierra en la escala de la capa de coberturas y uso del suelo, lo que restringe el cálculo adecuado de valores de pérdidas probables. Por lo anterior, el enfoque mencionado

corresponde con el método número 2 descrito en el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en POMCAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Desde el contexto teórico presentado, la vulnerabilidad como componente del riesgo se presenta como la convolución de la amenaza con la vulnerabilidad, esta última definida como:

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Exposición} \times \text{fragilidad} \times \text{falta de resiliencia}]$$

El método desarrollado incluye, luego de calificar y normalizar las variables, la asociación de los factores en pares con el fin de asignar por medio de una proporción numérica estándar, la importancia que tiene cada uno en relación con el objetivo a evaluar en comparación con el resto de factores incluidos (donde 1 es igualmente importante y 9 es extremadamente más importante), de esta manera se obtiene la matriz de comparación por pares (Saaty, 1990).

Adicionalmente, dentro del proceso de calificación y normalización mencionada se consideraron los factores e índices intermedios para el cálculo de vulnerabilidad, desarrollados en el estudio de “Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de propuestas de gestión” hecho por la Universidad Nacional en el año 2009 en convenio con los municipios de Medellín y Envigado, Corantioquia y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual complementa considerablemente la estimación de vulnerabilidad incorporada en el estudio de microzonificación sísmica [Zonificación de respuesta sísmica] del Valle de Aburrá. En adelante, estos estudios se mencionarán como “*Estudios Antecedentes*”.

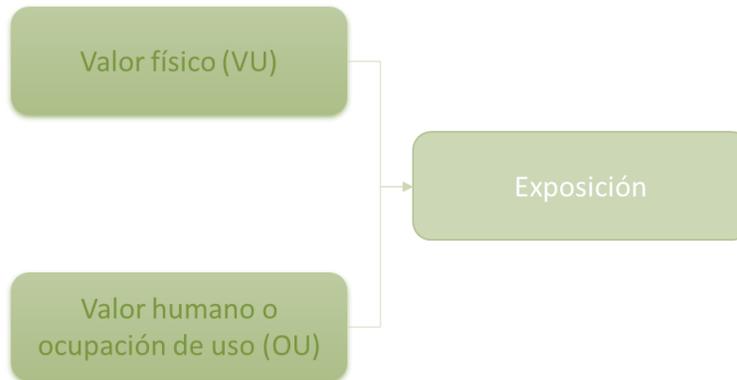
Los estudios mencionados parten principalmente de la generación de encuestas y censos recopilados como información primaria para el cálculo de variables, lo que corresponde con un punto de partida valioso dentro de la evaluación. Estas variables incluyen valoraciones físico-espaciales (procesos de producción de la vivienda, aspectos urbanísticos, relaciones ecosistémicas), sociales (composición demográfica, escolaridad, afiliación a salud, seguridad alimentaria, participación social, tipo de movilidad según causa de emplazamiento), económicas (ingresos y empleo, patrimonio, acceso a mercado, inversión directa en gestión de riesgo), culturales (representación ciudadana, acceso a comunicaciones, prácticas cotidianas y hábitos, vínculos y relaciones sociales) e institucionales (presencia territorial, visión, acción, inversión en generación de conocimiento de amenazas y riesgos).

A continuación se muestra de manera sintética el cálculo de las variables.

2.7.11.1. Exposición

Es el factor que se mide por medio del índice de pérdidas evaluando el volumen normalizado del valor físico y valor humano del área de estudio, orientado a la valoración de reposición de los elementos expuestos como lo muestra la Figura 469.

FIGURA 469. VARIABLES QUE INCLUYEN LA EXPOSICIÓN DE FUNCIÓN A LA VULNERABILIDAD



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.1.1. *Valor físico o costo de reposición (vu)*

Corresponde al valor normalizado por hectárea de la zona de estudio (orientado como valor de reposición), en donde 0 son aquellos suelos que tienen un bajo costo y 1 zonas con altos costos, establecido por zonas cuya configuración está directamente relacionada con la disposición de la información sobre la valoración económica de los elementos expuestos y que pueden llegar a componer espacios geográficos de una región con características similares en cuanto a su precio (DECRETO 1420, 1998).

- Formato: Vector, tipo polígono.
- Fuente: IGAC, planeación y Actualización POMCA Aburrá 2016.

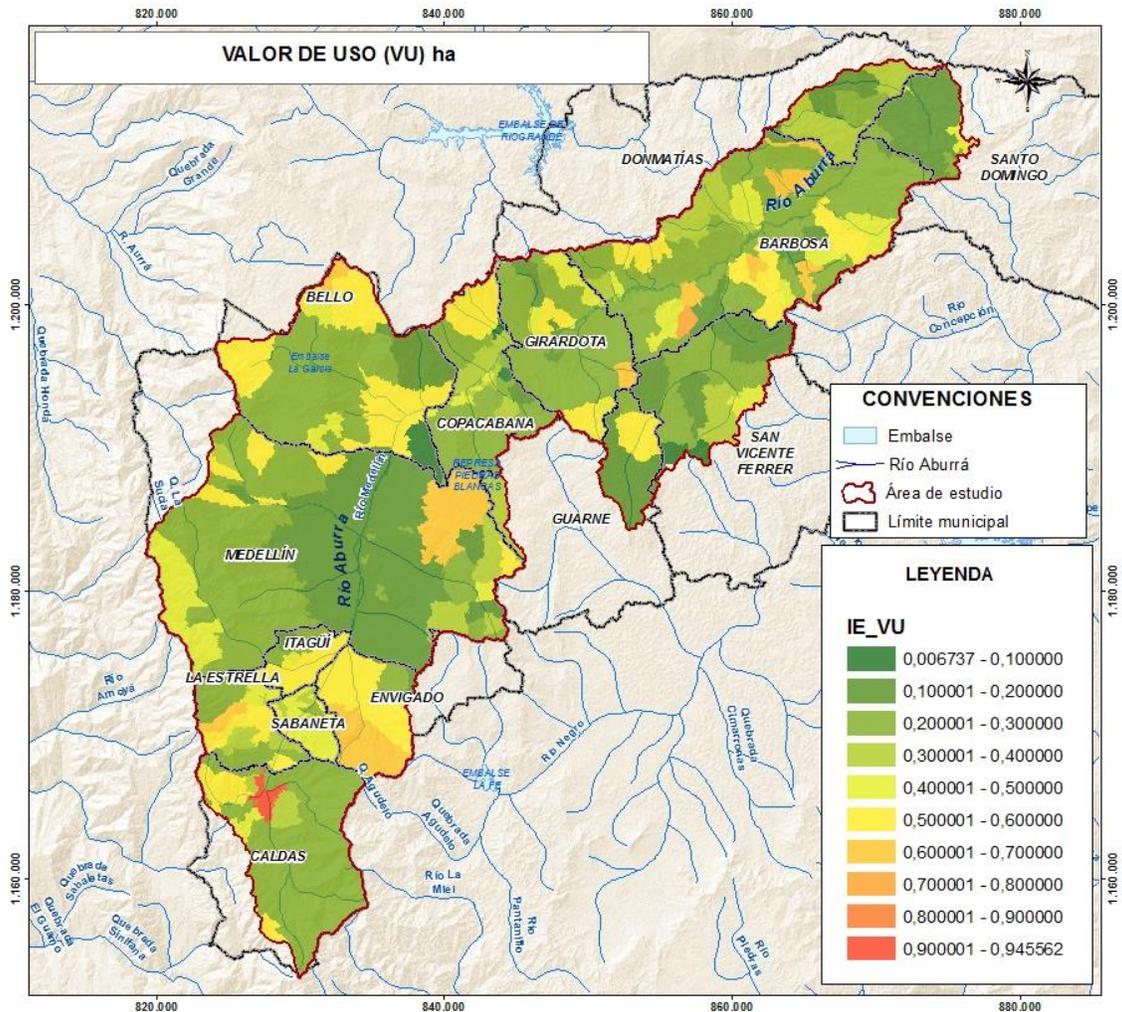
Como validador complementario se usó la variable SE (Solvencia económica) descrita en los *Estudios Antecedentes* buscando representar en mejor escala la distribución espacial de la estratificación socioeconómica que redundaba en valores mayores de reposición meramente física de infraestructura. Dada la limitación por sí misma de disparidad en costo de reposición, se aplica sin mayor afectación a la variable como se plantea en la siguiente ecuación:

$$IEVU = VU + \frac{SE}{100}$$

A este resultado se aplica un ajuste de valores extremos y recuperación de proporciones mediante una normalización polinómica.

La *Figura 470* muestra el resultado del proceso de normalización, de tal manera que en los rangos establecidos en la cuenca, 1 es el mayor valor de uso de suelo por hectárea y 0 el menor, respectivamente. Como se observa a lo largo del eje del río Aburrá se encuentran valores intermedios. Hay sobre sectores altos de borde de la cuenca unas zonas donde se encuentran mayores valores. Sectores de los municipios de Caldas, La Estrella, Itagüí, Bello, Girardota, Guarne, San Vicente y Barbosa se incrementa los valores de este indicador, hasta llegar a las zonas de mayor valor, que se localizan en áreas limítrofes de los municipios de Bello, Medellín y Copacabana, en un sector entre Guarne y San Vicente, en límites entre Girardota y San Vicente y Barbosa en el sector urbano del municipio de Caldas el índice llega a los valores más cercanos a 1.

FIGURA 470. VALORES POR HECTÁREA DEL USO DEL SUELO DISCRIMINADO PARA VEREDAS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

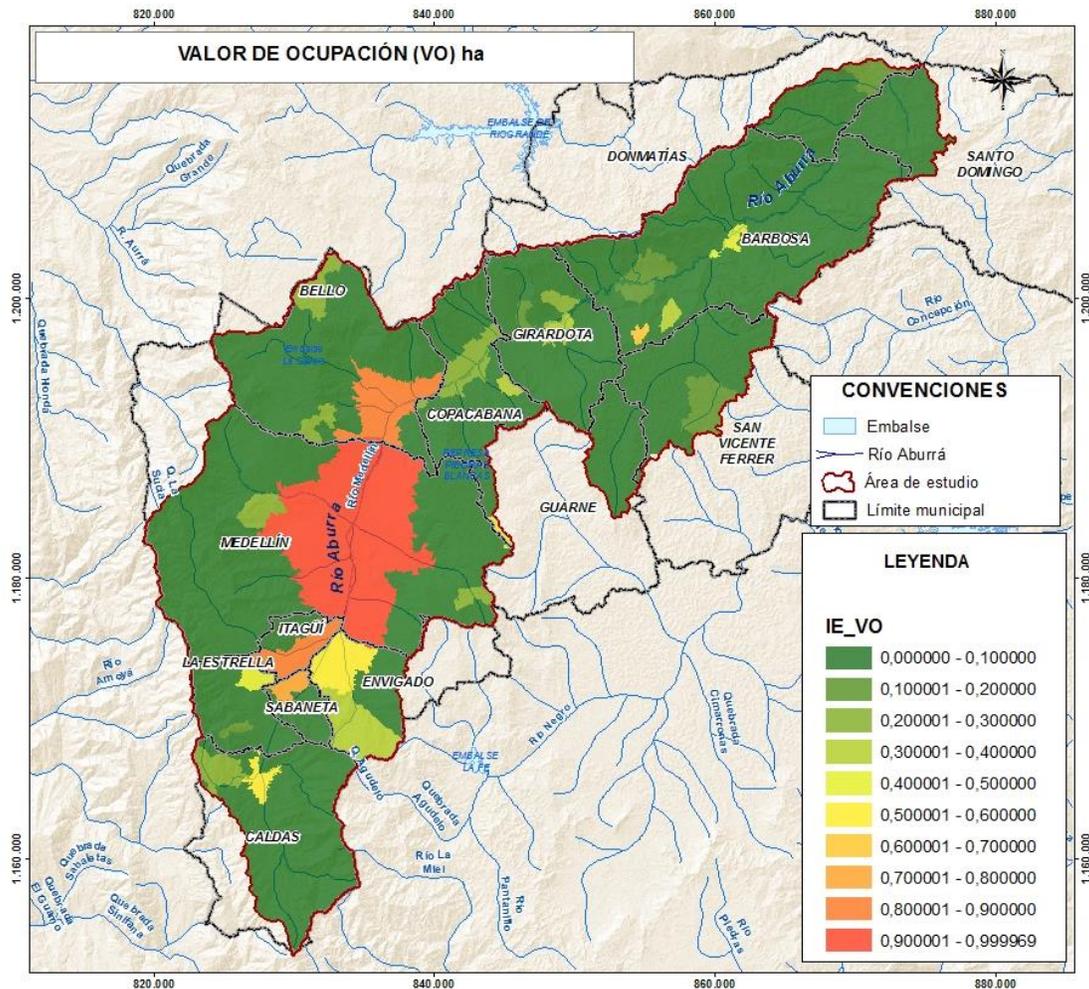
2.7.11.1.2. Valor humano u ocupación uso (OU)

Corresponde a la cantidad normalizada de habitantes expuestos, que al igual que el valor físico, su zonificación depende de la disposición de la información de acuerdo con el área de evaluación y las características de su configuración espacial. Valores de densidad de población por hectáreas estandarizados en valores entre 1-0 (*Figura 471*).

- Formato: Vector tipo polígono.

- Fuente: DANE.

FIGURA 471. VALORES DE OCUPACIÓN POR HECTÁREA DISCRIMINADO POR VEREDAS DENTRO DE LA CUENCA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

En la *Figura 471* se muestra una predominancia a lo largo del eje del río Aburrá con predominancia de valores medios de este índice. Hacia los bordes de la cuenca el indicador presenta un mayor valor, hasta que en zonas de los municipios de La Estrella, Medellín, Envigado, Sabaneta, Girardota y Barbosa, se las mayores áreas en el decil 10. En el decil 1 se encuentran zonas principalmente de los municipios de cuenca baja y de los bordes de la cuenca sobre la zona de la divisoria de agua.

Para ello se recurrió al análisis de procesos jerárquicos realizando la matriz de importancia de comparación entre variables (*Tabla 598*), donde la comparación de pares puede tener valor de 1 que representa igual importancia hasta 9 que indica que una variable es significativamente más importante que otra.

TABLA 598. MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES PARA VARIABLES DE EXPOSICIÓN

MATRIZ INICIAL	USO	OCUPACIÓN
Uso	1,00	0,33
Ocupación	3,00	1,00

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Posteriormente, se realizó la matriz inconsistente y con ello la elaboración del vector de valores propios que corresponde al cálculo de los pesos de importancia para cada una de las variables que integran la ponderación total del modelo (*Tabla 599*). Para determinar la consistencia de las ponderaciones de las variables, se calculó la razón de consistencia, indicando que el 1.8% de la asignación de los pesos obtenidos por la matriz de comparación entre pares genera inconsistencias, dicho valor indica que existe una buena coherencia y pertinencia de la relación de la variables dentro del modelo.

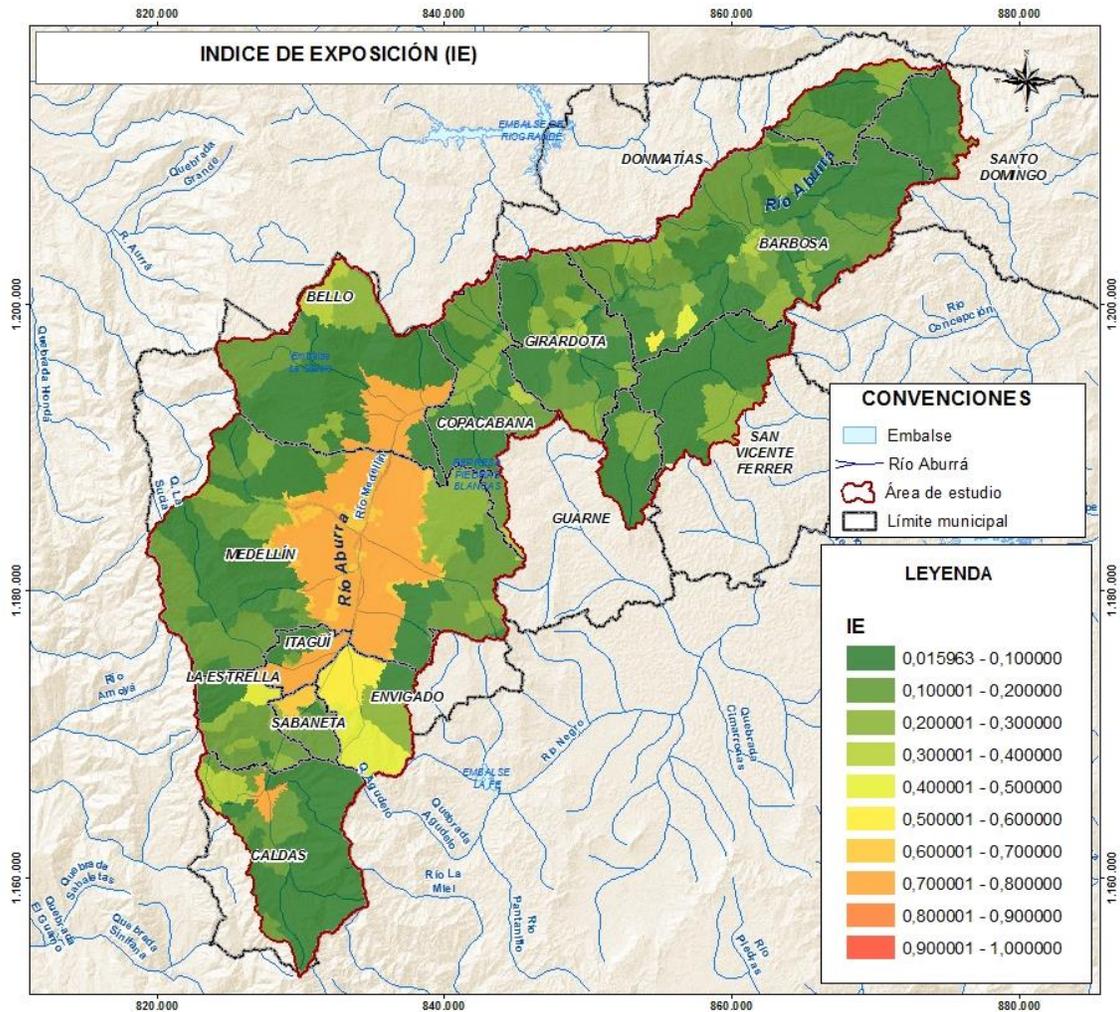
TABLA 599. PESOS ASIGNADOS PARA VARIABLES DE EXPOSICIÓN (VECTOR DE VALORES PROPIOS)

VARIABLES	PESOS
Uso	0.35
Ocupación	0.65

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos se obtiene el índice de exposición (*Figura 472*), en donde predomina el índice de la exposición baja de la cuenca, con algunos sectores en el sector noroccidental de Caldas, en zonas limítrofes con La Estrella, en un área en Sabaneta y una porción muy significativa del municipio de Envigado y en el casco urbano de la ciudad de Medellín, donde el índice de exposición es medio a alto.

FIGURA 472. VALORES ÍNDICE DE EXPOSICIÓN

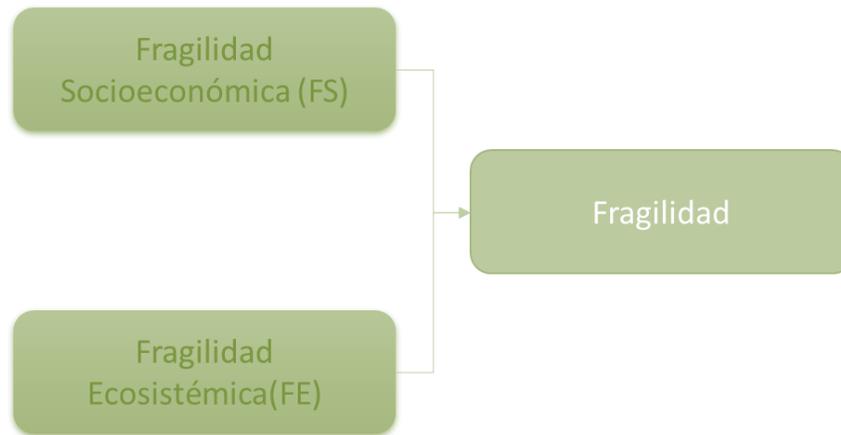


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.2. Fragilidad

Este factor hace referencia a la predisposición de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento por su fragilidad social o ecosistémica como lo muestra la Figura 473.

FIGURA 473. VARIABLE QUE INCLUYEN LA FRAGILIDAD DE FUNCIÓN A LA VULNERABILIDAD



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.2.1. Fragilidad socioeconómica (FS)

Se utiliza como indicador el NBI (índice de necesidades básicas insatisfechas) como referencia para la fragilidad física, ya que permite identificar carencias de una población y caracterizar la pobreza. Dentro de los indicadores simples que conforman el NBI, se incluye la caracterización de condiciones de las viviendas, pues evalúan: viviendas inadecuadas para habitación humana en razón de los materiales de construcción utilizados, viviendas con hacinamiento crítico y viviendas sin acueducto (DANE).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: DANE.

NBI: Índice de necesidades básicas insatisfechas. Información categorizada entre 0-1 en niveles de porcentaje. La cuenca del río Aburrá, a pesar de ser un zona industrial de la mayor importancia en el país, pues en su territorio se produce cerca del 10% del PIB nacional, de forma adicional, es un territorio de oportunidades y amplias capacidades de adaptación a condiciones del mercado, que se ha transformado en su aparato productivo y que oferta una gran de servicios educativos, de salud, recreación, etc., presenta aún deficiencias en el cubrimiento de las necesidades meritorias de la población. La ocupación de la vivienda informal, la afectación derivada del conflicto armado y el desplazamiento mencionado en el componente socioeconómico, hace que aun subsistan condiciones no satisfechas para el desarrollo individual y colectivo de una gran parte de las comunidades. La Tabla 600 muestra la situación de NBI a nivel de municipios indicando que los

territorios más alejados de la metrópoli regional, poseen un mayor nivel de necesidades por atender, mas sí se considera que corresponden a territorios rurales.

TABLA 600. VALORES ÍNDICES DE NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS POR MUNICIPIO

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	NBI
Barbosa	Antioquia	0,22
Bello	Antioquia	0,11
Caldas	Antioquia	0,13
Copacabana	Antioquia	0,1
Donmatías	Antioquia	0,19
Envigado	Antioquia	0,05
Girardota	Antioquia	0,15
Guarne	Antioquia	0,18
Itagüí	Antioquia	0,09
La Estrella	Antioquia	0,12
Medellín	Antioquia	0,13
Sabaneta	Antioquia	0,07
San Vicente Ferrer	Antioquia	0,3
Santo Domingo	Antioquia	0,29

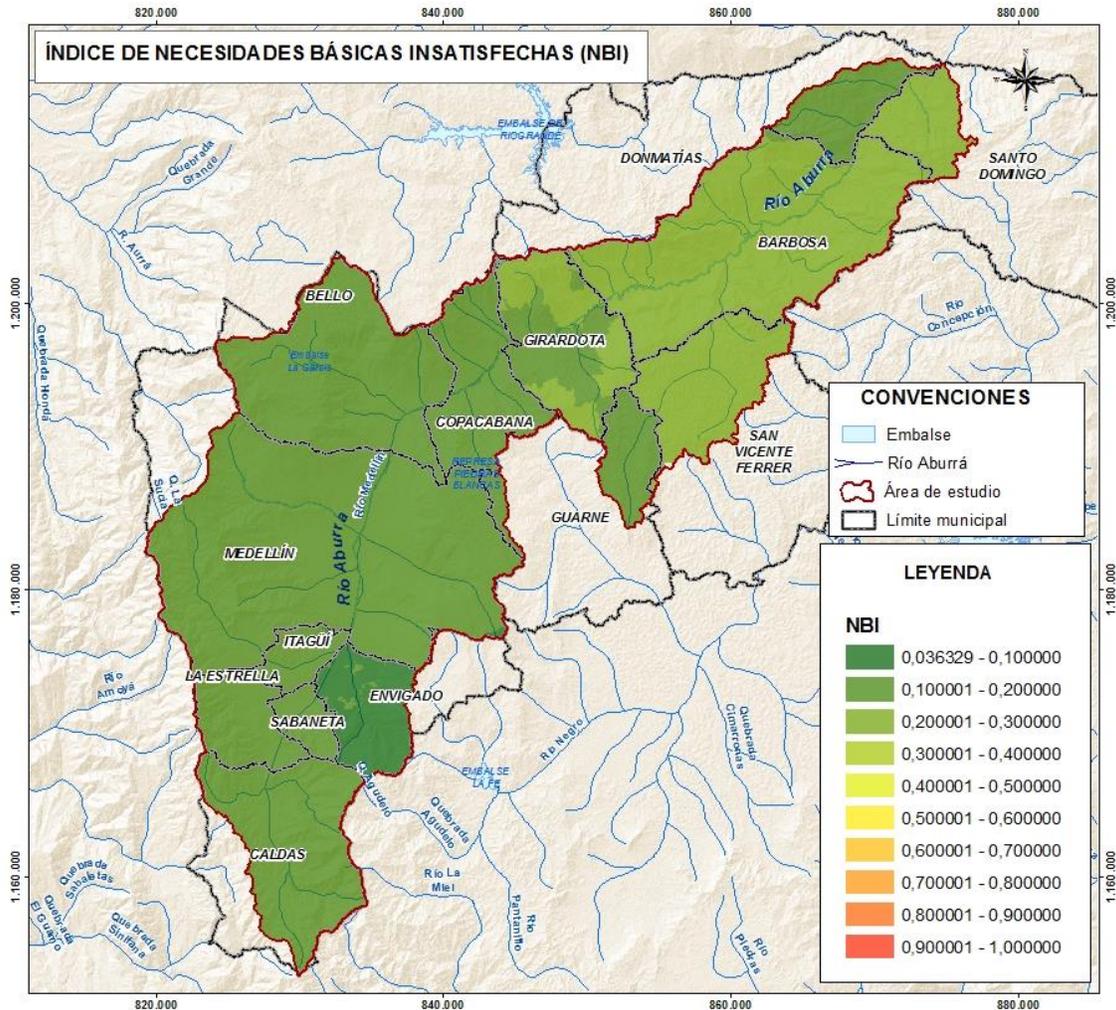
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Como validador complementario se usó la variable FS (Fragilidad socio-ambiental), descrita en los *Estudios Antecedentes* buscando representar en mejor escala la distribución espacial de las necesidades básicas insatisfechas que son tenidas en cuenta en la variable mencionada. El ajuste se plantea en la siguiente ecuación:

$$NBI = NBI + \frac{FS}{100}$$

A este resultado se aplica un ajuste de valores extremos y recuperación de proporciones por adición (*Figura 474*).

FIGURA 474. ÍNDICE DE NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

ICV: Índice de condiciones de vida; información recopilada en el marco de la actualización del POMCA. Categorizada entre 0-1.

En términos de condiciones de vida, los valores para los diferentes territorios son similares, en tanto la región ha consolidado una red de servicios públicos y sociales, al que acceden de manera fácil en general los habitantes de la totalidad de la cuenca, en consideración a la oferta de comunicaciones y el acercamiento que se deriva de los proyectos viales de carácter nacional.

La Tabla 601 muestra los valores arrojados del índice de condiciones de vida a escala municipal.

TABLA 601. VALORES ÍNDICES DE CONDICIONES DE VIDA POR MUNICIPIO

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ICV
Barbosa	Antioquia	0,63
Bello	Antioquia	0,65
Caldas	Antioquia	0,68
Copacabana	Antioquia	0,69
Donmatías	Antioquia	0,7
Envigado	Antioquia	0,7
Girardota	Antioquia	0,69
Guarne	Antioquia	0,7
Itagüí	Antioquia	0,71
La Estrella	Antioquia	0,73
Medellín	Antioquia	0,75
Sabaneta	Antioquia	0,77
San Vicente Ferrer	Antioquia	0,7
Santo Domingo	Antioquia	0,7

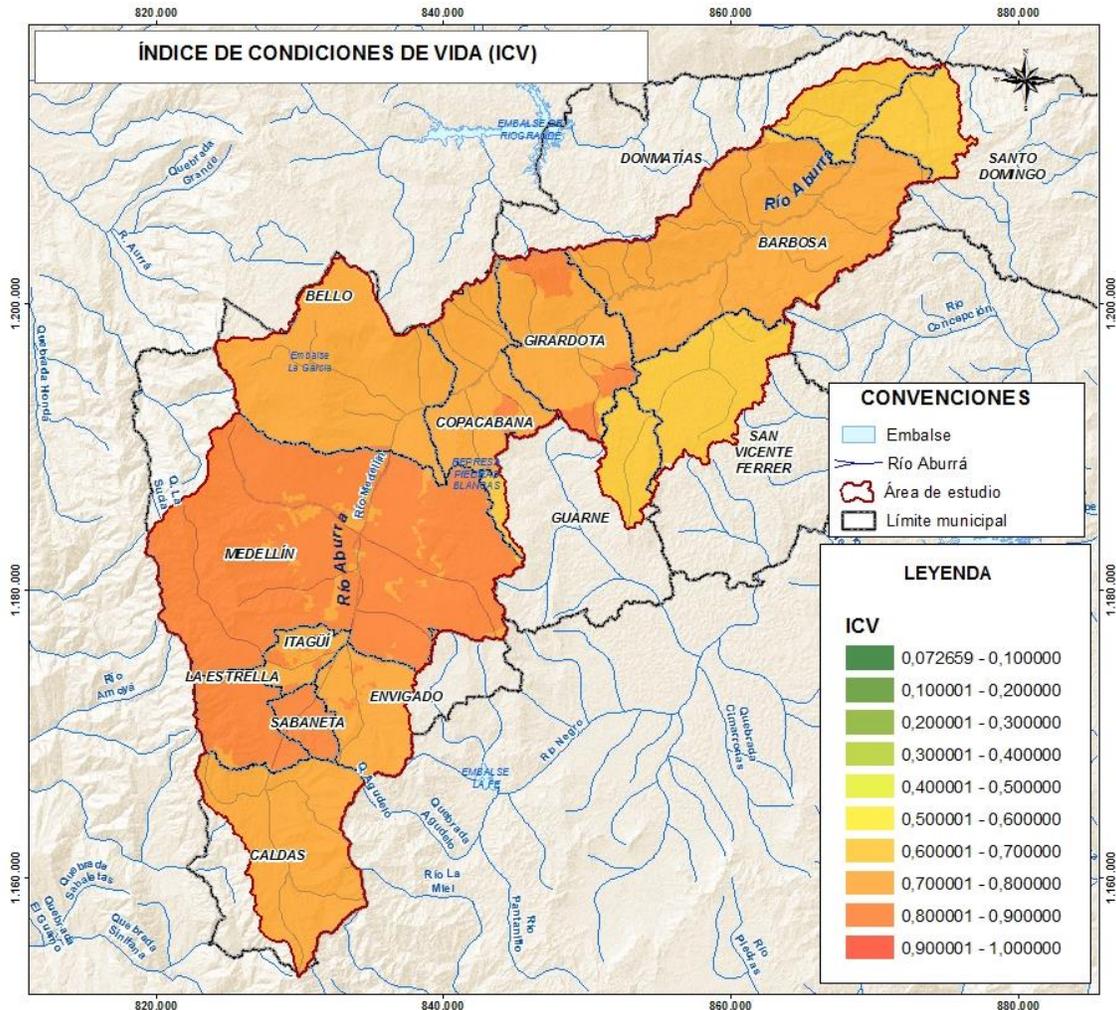
FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Como validador complementario, se usó la variable FS (Fragilidad socio-ambiental) descrita en los *Estudios Antecedentes* buscando representar en mejor escala la distribución espacial de las condiciones de vida que son tenidas en cuenta en la variable mencionada. El ajuste se plantea en la siguiente ecuación:

$$ICV = ICV + \frac{FS}{100}$$

A este resultado se aplica un ajuste de valores extremos y recuperación de proporciones por adición (Figura 475).

FIGURA 475. ÍNDICE DE CONDICIONES DE VIDA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.2.2. Fragilidad Ecosistémica

Corresponde a las zonas en las que se encuentran expuestos elementos que conforman áreas protegidas, que prestan servicios ambientales o satisfacen necesidades básicas.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: SINAP.

Índice de fragilidad de ecosistemas estratégicos (IF_E_EE): Información recopilada en el marco de la Actualización del POMCA, donde se evalúan áreas de ecosistemas estratégicos para cada zona identificada, dependiendo de la importancia que tenga se le asignaron rango de valores entre 0-1.

Corresponde al valor normalizado para las áreas de Patrimonio Nacional Cultural de la zona de estudio (orientado como valor de reposición), establecido por zonas cuya configuración está directamente relacionada con la disposición de la información sobre la valoración económica de los elementos expuestos.

Áreas de patrimonio natural y cultural considerando valores de 0-1 para el grado de importancia.

- Formato: Vector tipo polígono.

La Tabla 602 identifica las principales áreas consideradas en el análisis de vulnerabilidad de los ecosistemas naturales y la Tabla 603 califica la fragilidad de los ecosistemas estratégicos.

TABLA 602. CATEGORÍAS DE FRAGILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

ÁREAS DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS		
ID	NOMBRE ÁREA PROTEGIDA	IMPORTANCIA
	Bosques naturales del orobioma medio de los Andes	1
	Subsistema Corredor Regional del Tigrillo	1
	Corredor Escarpe Oriental Palmas	1
	Subsistema Bosques de Robles Perico y Pantanillo	1
	Subsistema Reserva Nare	1
	Cuenca Hidrográfica	0

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 603. NORMALIZACIÓN DE CATEGORÍAS ECOSISTÉMICAS EN FUNCIÓN AL ÍNDICE DE FRAGILIDAD

VALOR	ÁREAS Y ECOSISTEMA ESTRATÉGICO
1	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural
0,75	Productividad y equilibrio natural
0,3	Productividad
0	No constituye un área o ecosistema estratégico en la cuenca

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Para evaluar el índice de fragilidad se recurrió al análisis de procesos jerárquicos en donde se elabora una matriz de importancia de comparación entre variables (*Tabla 604*), donde la comparación de pares puede tener valor de 1 que representa igual importancia, hasta 9 que indica la importancia de una variable sobre otra.

TABLA 604. MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES PARA VARIABLES DE FRAGILIDAD

MATRIZ INICIAL	ICV	NBI	EE
ICV	2,00	0,33	1,00
NBI	3,00	1,00	2,00
EE	1,00	0,50	1,00

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Posterior a eso se realiza una matriz inconsistente y con ello se elabora del vector de valores propios, que corresponde al cálculo de los pesos de importancia para cada una de las variables que integran la ponderación total del modelo (*Tabla 605*). Para determinar la consistencia de las ponderaciones de las variables se calculó la razón de consistencia, la cual indica que el 1,9% de la asignación de los pesos obtenidos por la matriz de comparación entre pares genera inconsistencias, dicho valor indica que existe una buena coherencia y pertinencia de la relación de la variables dentro del modelo.

TABLA 605. PESOS ASIGNADOS PARA VARIABLES DE FRAGILIDAD (VECTOR DE VALORES PROPIOS)

VARIABLES	PESOS
ICV	0.35
NBI	0.45
EE	0.20

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

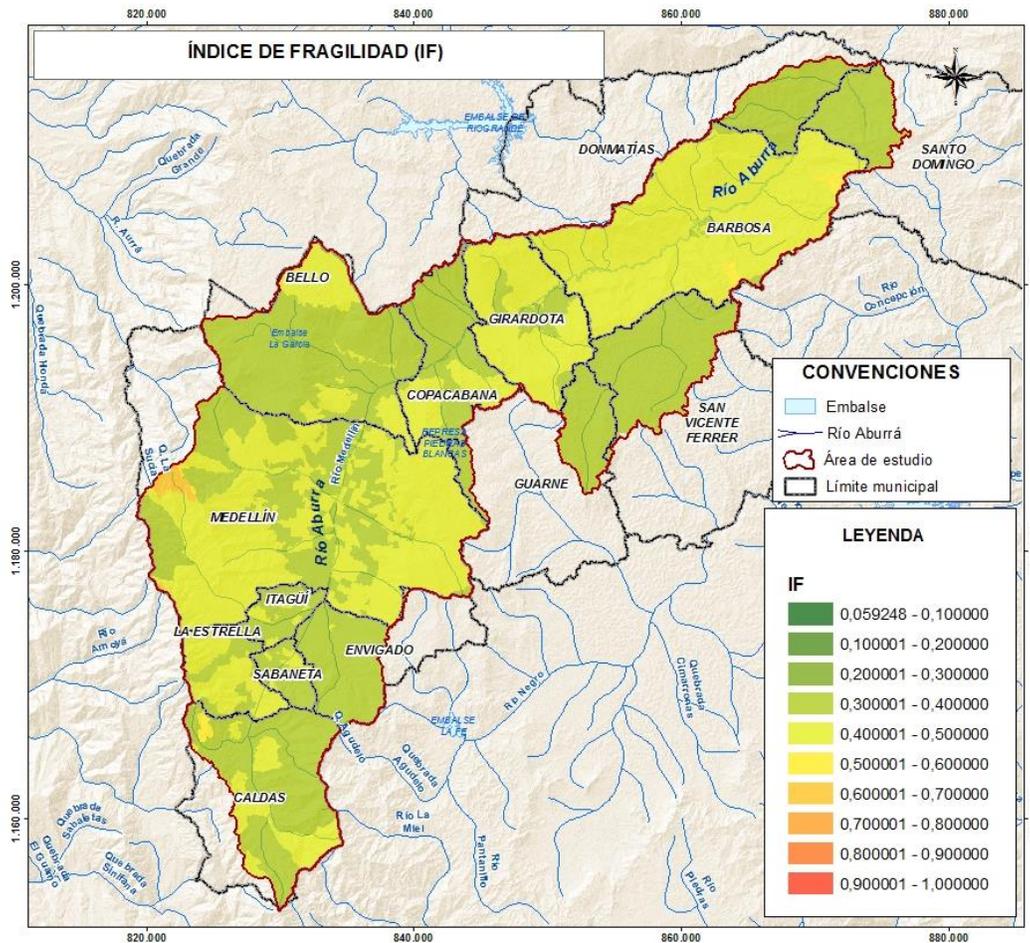
Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos se obtiene el índice de fragilidad (*Figura 476*). Si bien se ha establecido que la cuenca presenta un alto deterioro de sus coberturas y una alta transformación de las mismas, el índice de fragilidad es en general bajo e intermedios, a excepción de unas pequeñas zonas de Medellín y Caldas, donde el valor es medio en zonas que hacen parte de sistema de áreas protegidas.

Como validador complementario se usaron las variables SE (Solvencia económica), CV (criticidad de la vivienda) y FS (Fragilidad socio-ambiental) descritas en los *Estudios Antecedentes*, buscando representar en mejor escala la distribución espacial de la fragilidad física, ecosistémica y de la población. El ajuste se plantea en la siguiente ecuación:

$$IF = IF + \frac{FS}{80} + \frac{CV}{80} - \frac{SE}{80}$$

A este resultado se aplica un ajuste de valores extremos y recuperación de proporciones por adición para luego ser sometidos a normalización lineal.

FIGURA 476. ÍNDICE DE FRAGILIDAD



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.3. Falta de resiliencia

Hace referencia a la falta de capacidad que tiene un sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido, por lo tanto, es un factor que se basa en la caracterización de las limitaciones que presenta la gestión institucional, según la capacidad de respuesta y de recuperación ante una emergencia y por lo tanto se evalúa a través de las variables de planeación, operaciones y recuperación (*Figura 481*).

FIGURA 477. VARIABLE QUE INCLUYEN LA FALTA DE RESILIENCIA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Para tener conocimiento y realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa de la capacidad de respuesta, planeación y recuperación ante la pérdida ocurrida por algún desastre, se aplicaron una serie de preguntas (*Tabla 606*) dirigidas a resolver desde los territorios que hacen parte de la cuenca, a partir de la valoración que se logra adelantar del proceso de incorporación revisada la existencia y contenidos y aplicación de los planes locales de gestión de riesgos- formulados e implementados en el marco de lo establecido en la Ley 1523 de 2012 o en su defecto, planes de emergencias y contingencias, derivados de la aplicación del Decreto 919 de 1989, para evaluar los diferentes componentes que conforman la valoración de la susceptibilidad por falta de resiliencia.

TABLA 606. FICHA DE REVISIÓN DE INSTRUMENTO DE GESTIÓN DE RIESGOS LOCAL PARA EL CÁLCULO DE LA RESILIENCIA

OBJETO:		DEFINIR LA RESILIENCIA NIVEL MUNICIPAL				
APLICADO A:		Plan Municipal de Gestión de Riesgos/ Plan Local de Emergencias y Contingencias				
MUNICIPIO:						
ASPECTOS A EVALUAR EN LA FRAGILIDAD POR RESILIENCIA		PREGUNTA	CONSIDERACIONES	CALIFICACIÓN		
				BAJA	MEDIA	ALTA
Percepción sobre los procesos amenazantes	Conocimiento y concientización de riesgos.	1. ¿Conoce las diferentes causas o factores naturales y sociales que inducen a la generación de desastres?	Alta: Desconoce las causas			
			Media: Conoce algunas causas			
			Baja: Conoce las causas			
Actitud frente a los desastres	Actitud previsor ante la ocurrencia de un desastre.	2. ¿Conoce y aplica las acciones de prevención y Atención de desastres?	Alta: Desconoce las acciones			
			Media: Conoce algunas acciones			
			Baja: Conoce las acciones			
		3. La comunidad identifica los lugares que son propensos a que ocurra un evento amenazante?	Alta: Desconoce los lugares propensos			
			Media: Conoce algunos lugares propensos			
			Baja: Conoce todos los lugares propensos			
Capacidad de respuesta ante un desastre	Conocimiento acerca de que hacer antes, durante y después de un evento amenazante.	4. ¿Han recibido información o tiene conocimiento de que hacer antes, durante y después de	Alta: No ha recibido información			
			Media: Ha recibido alguna información			

OBJETO:		DEFINIR LA RESILIENCIA NIVEL MUNICIPAL				
APLICADO A:		Plan Municipal de Gestión de Riesgos/ Plan Local de Emergencias y Contingencias				
MUNICIPIO:						
ASPECTOS A EVALUAR EN LA FRAGILIDAD POR RESILIENCIA	PREGUNTA	CONSIDERACIONES	CALIFICACIÓN			
			BAJA	MEDIA	ALTA	
	ocurrir un desastre?	Baja: Ha recibido información				
	5. ¿Conocen los sitios más seguros de su barrio para resguardarse en caso de ocurrir un evento?	Alta: No ha recibido información				
		Media: Ha recibido alguna información				
		Baja: Los conoce				
	6. ¿Cómo reaccionarían al verse afectado por un evento amenazante?	Alta: Se aflige y desespera				
		Media: No reacciona				
		Baja: Reacciona y enfrenta el evento				
	7. ¿Identifican las vías seguras del municipio para la evacuación en caso de ocurrir un evento amenazante?	Alta: No identifica ninguna vía de evacuación				
		Media: Identifica algunas vías de evacuación				
		Baja: Identifica todas las vías de evacuación				
Capacidad de recuperación post-evento	Organismos de socorro e institucionalidad	Alta: No identifica ningún organismo				
		Media: Identifica algunos organismos				
		Baja: Identifica todos los organismos				

OBJETO:		DEFINIR LA RESILIENCIA NIVEL MUNICIPAL				
APLICADO A:		Plan Municipal de Gestión de Riesgos/ Plan Local de Emergencias y Contingencias				
MUNICIPIO:						
ASPECTOS A EVALUAR EN LA FRAGILIDAD POR RESILIENCIA	PREGUNTA	CONSIDERACIONES	CALIFICACIÓN			
			BAJA	MEDIA	ALTA	
Capacidad económica	9. ¿Cuentan con recursos propios para sobreponerse económicamente a una emergencia?	Alta: No cuenta con recursos propios				
		Media: Cuenta con recursos propios moderados				
		Baja: Cuenta con recursos propios suficientes				
Reposición económica	10. ¿En qué tiempo cree que pueden recuperarse económicamente si es afectado por un desastre?	Alta: Necesitaría más de cinco años				
		Media: Se recuperaría en uno a cinco años				
		Baja: Se recuperaría en menos de cinco años				

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA DEL RÍO ABURRÁ. 2016

Una vez obtenido el cuestionario, la cuantificación se realizó según la Tabla 607.

TABLA 607. CALIFICACIÓN DE LA CATEGORÍA PARA CADA RESPUESTA REALIZADA

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Baja	0
Media	0.5
Alta	1

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Luego de la calificación de estos análisis se obtiene un promedio de las diez (10) preguntas orientadoras sobre los instrumentos sectoriales de gestión de riesgos a nivel municipal (Tabla 608).

TABLA 608. PROMEDIO DE ANÁLISIS REALIZADOS

MUNICIPIO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Barbosa	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0,5	0
Bello	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0,5	0
Caldas	0	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0	0
Copacabana	0	0	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0	0
Don Matías	0,5	0	0,5	1	0	1	0	0,5	0	0
Envigado	1	1	1	1	0,5	1	0	0,5	1	0,5
Girardota	1	0,5	0	1	0	1	0	0,5	0,5	0
Guarne	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0,5	0,5
Itagui	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0,5	0,5
La Estrella	0	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0,5	0
Medellín	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,5
Sabaneta	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0	0,5	0	0
San Vicente	0	0	0,5	1	0	1	0	0,5	0	0
Santo Domingo	1	0,5	1	1	0	1	0	0,5	0	0

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.3.1. Planeación (PR)

Continuando con la evaluación de los instrumentos sectoriales con los que cuentan las entidades para la recuperación en casos de emergencia, esta variable se evalúa de acuerdo con la existencia los planes de emergencias para la zona (Tabla 609) y el nivel de efectividad que se haya podido evidenciar de los mismos (Tabla 610).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Planes de desarrollo y emergencia, e informes de rendición de cuentas.

$$\text{Planeación} = (\text{Planes de Emergencia} + \text{Nivel de efectividad de entes ante eventos})/2$$

TABLA 609. CALIFICACIÓN DE LA CATEGORÍA.

VALOR	PLANES DE EMERGENCIA (CON COMPONENTE ORIENTADO A LA RECUPERACIÓN)
1	Inexistente o sin ningún tipo de publicación
0,8	En formulación
0,6	Por Aprobación
0,8	Aprobado
0,2	Aprobado y publicado
0	Publicado y ejecutado

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 610. NIVEL DE EFECTIVIDAD DE RESILIENCIA

VALOR	NIVEL DE EFECTIVIDAD DE ENTES ANTE EVENTOS DE ACUERDO CON EL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN
1	Nulo
0,5	Medio
0	Alto

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.3.2. Operaciones (O)

Corresponde a la capacidad institucional con que cuenta la cuenca, según la disponibilidad de información se tuvo en cuenta la presencia de centros de salud, escuelas y lugares de acopio y personal de búsqueda, rescate y orden público, en relación con las posibles distancias de cobertura (y por lo tanto se maneja en vector tipo polígono de acuerdo con la zona de influencia de cada uno) evaluadas de la Tabla 611.

TABLA 611. CATEGORÍA CALIFICACIÓN OPERACIONES

VALOR	DISTANCIA	CATEGORÍA
1	(15 a 35 km)	Lejano
0,5	(5 a 15 km)	Medio
0	(0 a 5 km)	Cercano

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

(Para los casos en los que es inexistente se asigna 1 en la distancia pues es la mayor clasificación de falta de resiliencia para el caso). Finalmente el factor de operaciones se obtiene:

Operaciones = (Dist. CS Reclasificada * Nivel de centro de salud)/2, (Dist. B Reclasificada * Centros de acopio)/2, (Dist. PBRO Reclasificada * Personal de búsqueda, rescate y orden público)

Centros de salud: Referente a las instituciones de salud para la atención de necesidades médicas o quirúrgicas, se clasifican por niveles de acuerdo con su dotación y capacidad para atender a sus pacientes, todos los hospitales se dividen en tres niveles diferentes (*Tabla 612 y Tabla 613*).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Planes de ordenamiento territorial, cartografía base y análisis componente social.

TABLA 612. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA EN DISPONIBILIDAD DE UN CENTRO DE SALUD CERCAÑO

VALOR	NIVEL DE CENTRO DE SALUD	DESCRIPCIÓN
1	Inexistente	
0,8	Nivel 1	Corresponde a puestos de salud donde se brinda atención básica.
0,4	Nivel 2	Corresponde a hospitales algunos especialistas, cuidados especiales y laboratorios médicos básicos.
0	Nivel 3	Corresponde a hospitales con mayor complejidad que incluyen cuidados intensivos, amplia gama de especialidades e incluso desarrollo de investigaciones.

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 613. ESTANDARIZACIÓN CALIFICACIÓN POR MUNICIPIOS DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA SEGÚN CENTROS DE SALUD

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	IR_O_CS
Barbosa	Antioquia	0,67
Medellín	Antioquia	0
Copacabana	Antioquia	0,67

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	IR_O_CS
Don Matías	Antioquia	0,67
Bello	Antioquia	0,33
Santo Domingo	Antioquia	0,67
Guarne	Antioquia	0,67
Caldas	Antioquia	0,33
San Vicente Ferrer	Antioquia	0,67
Sabaneta	Antioquia	0,67
Itagüí	Antioquia	0,33
Girardota	Antioquia	0,67
Envigado	Antioquia	0
La Estrella	Antioquia	0,67

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Personal de búsqueda, rescate y orden público: corresponde a la(s) institución(es) que apoyan el desarrollo de estas actividades, en cabeza de la fuerza pública teniendo en cuenta la ubicación a nivel de puestos de policía y solo se evalúa la existencia en la zona, por la forma articulada de despliegue que tiene esta institución a nivel nacional (*Tabla 614 y Tabla 615*).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Planes de ordenamiento territorial.

TABLA 614. EVALUACIÓN PERSONAL DE BÚSQUEDA Y RESCATE PÚBLICO

VALOR	EVALUACIÓN DE PBROP
1	Inexistente
0	Existente

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 615. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA EN DISPONIBILIDAD DE UNA INSTITUCIÓN DE RESCATE

Instituciones de Rescate	
ID	NOMBRE_GEO
1	Cruz Roja Colombiana

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.11.3.3. Recuperación (Rec)

Relacionado con los niveles de desarrollo, económico y social que reflejan la capacidad que presenta una comunidad para recuperarse ante un evento, por lo tanto, se tienen en cuenta las siguientes variables para su evaluación:

IPC (Índice Per Capita): corresponde a la representación de la economía de una región que puede determinar la posible disposición económica, orientada a la recuperación ante un evento por parte de la población afectada. Esta variable se establece de acuerdo con la disposición de la información y teniendo en cuenta que su relación con la vulnerabilidad es inversa, expresada como $1-IPC$ (*Tabla 616*).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Anuario estadístico de Antioquia.

TABLA 616. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA DEL APORTE AL IPC DE CADA MUNICIPIO AL DEPARTAMENTO

IPC EVALUADO POR MUNICIPIO		
Barbosa	Antioquia	0,97130181
Bello	Antioquia	0,85922225
Caldas	Antioquia	0,97904295
Copacabana	Antioquia	0,93771256
Don Matías	Antioquia	0,9972898
Envigado	Antioquia	0,950009
Girardota	Antioquia	0,95378538
Guarne	Antioquia	0,99449543

IPC EVALUADO POR MUNICIPIO		
Itagüí	Antioquia	0,61709963
La Estrella	Antioquia	0,96136669
Medellín	Antioquia	0,646545
Sabaneta	Antioquia	0,84387471
San Vicente Ferrer	Antioquia	0,99065875
Santo Domingo	Antioquia	0,9699201

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Nivel educativo: corresponde a la cobertura de educación identificado en la población evaluada, teniendo en cuenta que a través de las instituciones educativas se ha incluido la participación sobre la prevención y recuperación a eventos amenazantes (*Tabla 617 y Tabla 618*).

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Planes de desarrollo e informes de rendición de cuentas.

TABLA 617. CALIFICACIÓN NIVEL EDUCATIVO

VALOR	NIVEL EDUCATIVO
1	Inexistencia o muy baja calidad
0,5	Calidad media
0	Alta calidad

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

TABLA 618. ESTANDARIZACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA FALTA DE RESILIENCIA MEDIDA DEL NIVEL EDUCATIVO DE CADA MUNICIPIO AL DEPARTAMENTO

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	IR_NE
Barbosa	Antioquia	0,32
Medellín	Antioquia	0,05
Copacabana	Antioquia	0,11
Don Matías	Antioquia	0,31

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	IR_NE
Bello	Antioquia	0,32
Santo Domingo	Antioquia	0,17
Guarne	Antioquia	0,43
Caldas	Antioquia	0,25
San Vicente Ferrer	Antioquia	0,08
Sabaneta	Antioquia	0,39
Itagüí	Antioquia	0,41
Girardota	Antioquia	0,4
Envigado	Antioquia	0,14
La Estrella	Antioquia	0,14

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Para evaluar la falta de resiliencia se recurrió al análisis de procesos jerárquicos en donde se elabora una matriz de importancia de comparación entre variables (*Tabla 619*), donde la comparación de pares puede tener valor de 1 que representa igual importancia hasta 9 que indica que una variable es más importante que otra, significativamente.

TABLA 619. MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES PARA VARIABLES DE FALTA DE RESILIENCIA

MATRIZ INICIAL	OPERACIONES	RECUPERACIÓN	SOCIAL
Operaciones	1,00	0,33	0,50
Recuperación	3,00	1,00	3,00
Social	2,00	0,33	1,00

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Posterior a eso, se realiza una matriz inconsistente y con ello se elabora del vector de valores propios, que corresponde al cálculo los pesos de importancia para cada una de las variables que integran la ponderación total del modelo. Para determinar la consistencia de las ponderaciones de las variables, se calculó la razón de consistencia la cual indica que el 2,6% de la asignación de los pesos obtenidos por la matriz de comparación entre pares genera inconsistencias, dicho valor indica que existe una buena coherencia y pertinencia de la relación de la variables dentro del modelo (*TABLA 620*).

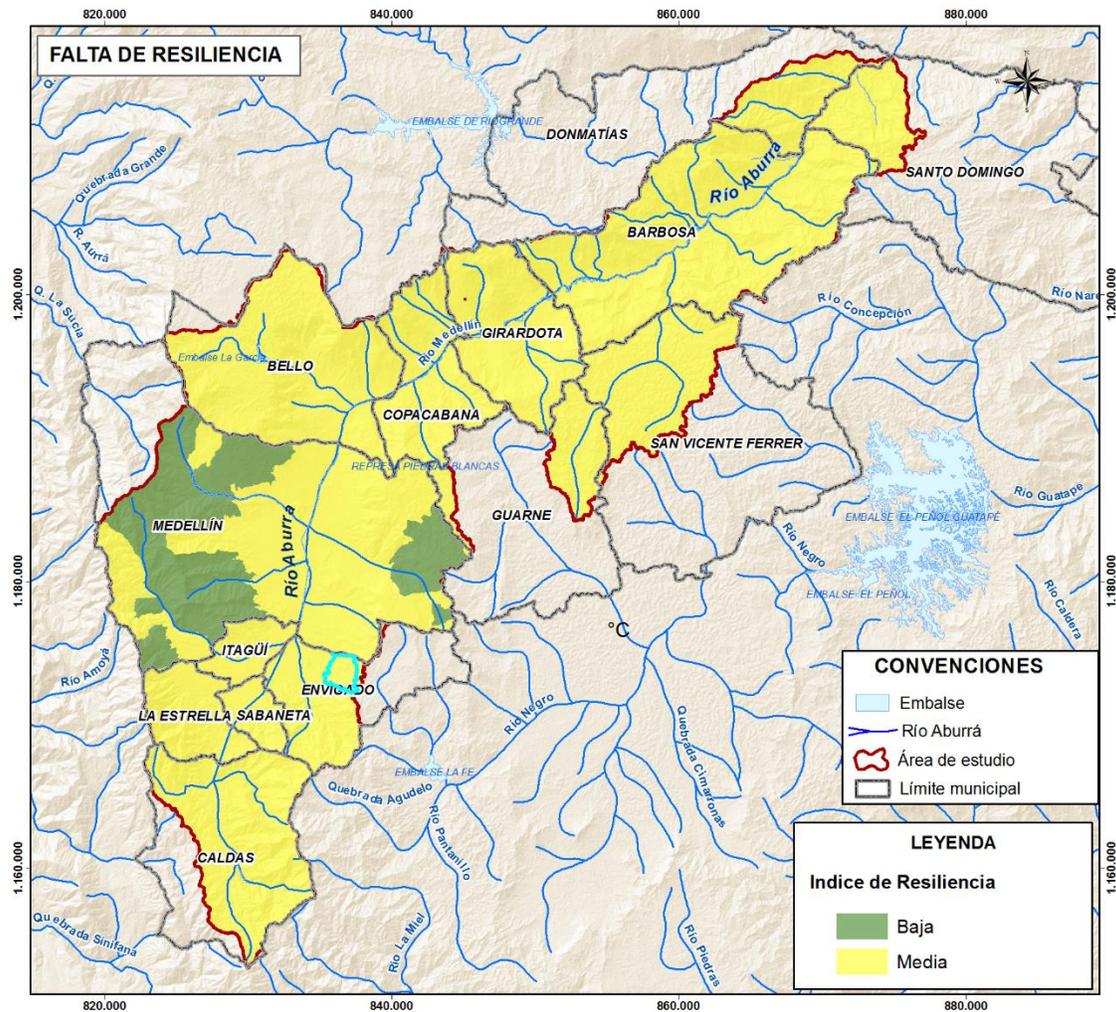
TABLA 620. PESOS ASIGNADOS PARA VARIABLES DE FALTA DE RESILIENCIA

VARIABLES	PESOS
Operaciones	0.26
Recuperación	0.48
Social	0.16

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Finalmente, al realizar relaciones de importancia y pertinencia de variables por procesos analíticos jerárquicos, se obtiene el índice de falta de resiliencia (*Figura 478*), que en general es medio, a excepción de un área del occidente y oriente de la ciudad de Medellín.

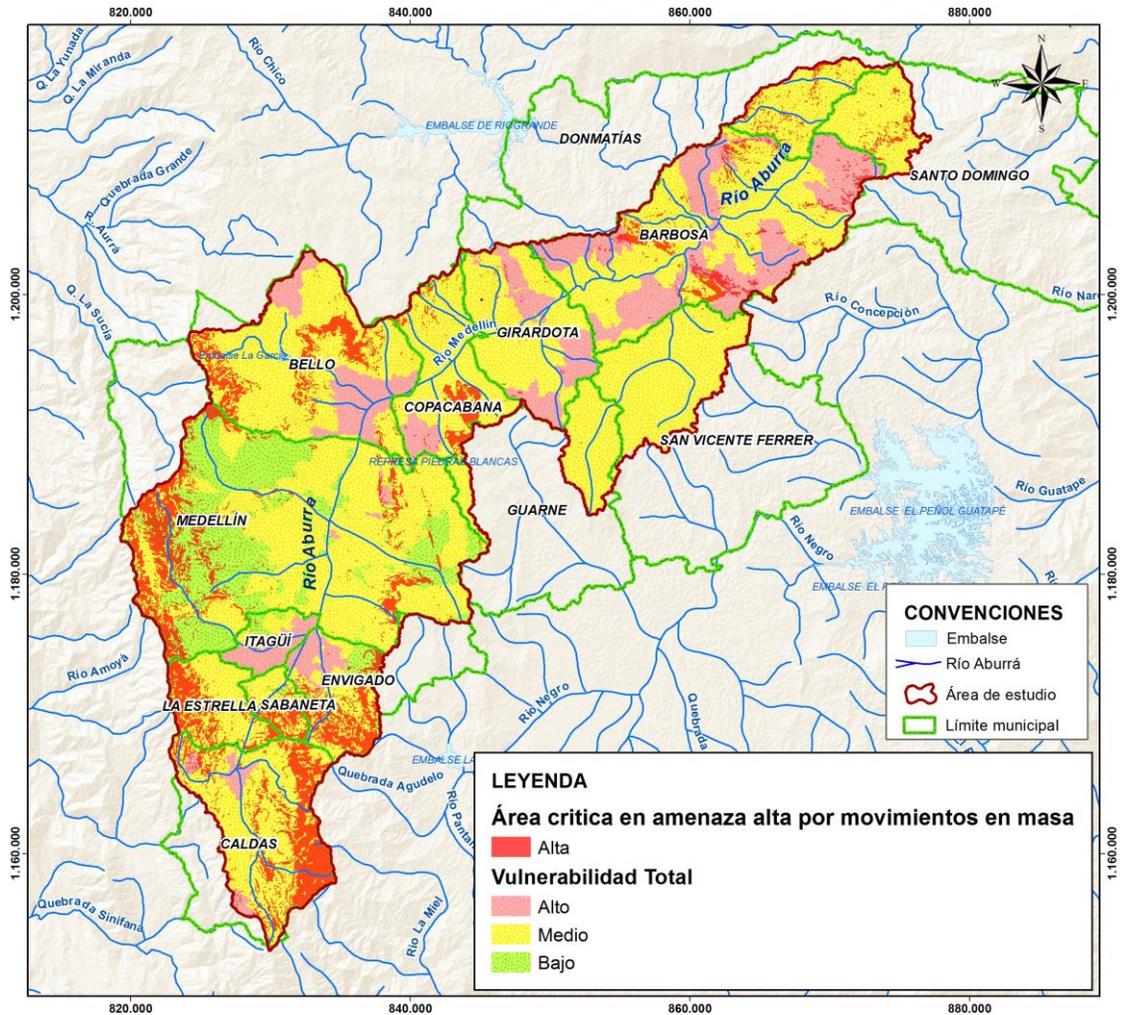
FIGURA 478. FALTA DE RESILIENCIA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Luego de generar los tres indicadores de vulnerabilidad se obtiene el mapa de vulnerabilidad total, en donde predomina la vulnerabilidad media, a excepción de algunos sectores del municipio de Medellín, un sector de Itagüí, la zona peste de Envigado, el norte de Sabaneta, un sector del este de Copacabana y el noroeste y sureste de Bello y en ciertos sectores de los municipios de Barbosa y Girardota (*Figura 479*). Este mapa refleja los índices de vulnerabilidad ambiental presente no solo en las zonas críticas de la cuenca ([Anexo Cartografía Aburrá / 5Mapas / PDF / 29 Indices Vulnerabilidad Ambiental](#))

FIGURA 479. VULNERABILIDAD TOTAL – INDICE DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Como validador complementario, se usó la variable FVUL (grado de vulnerabilidad por barrio y vereda) descrita en los *Estudios Antecedentes* buscando representar para las zonas rurales la combinación de la información y para las zonas urbanas la mejor calificación y discretización de las condiciones de vulnerabilidad. Este procedimiento se realizó de manera distinta, según las siguientes ecuaciones:

$$VUL = \frac{VUL}{2} + \frac{FVUL}{2} \quad (\text{Medellín – Urbano})$$

$$VUL = \frac{2}{3}VUL + \frac{1}{3}FVUL \quad (\text{Otros municipios – Urbano})$$

$$VUL = \frac{4}{5}VUL + \frac{1}{5}FVUL \quad (\text{Zonas rurales})$$

$$VUL = VUL \quad (\text{Áreas sin información de Estudios Antecedentes})$$

A este resultado se aplica un ajuste de valores extremos, recuperación de proporciones por adición.

2.7.12. Análisis de las condiciones de riesgos

El análisis de riesgo se entiende como la combinación de las variables de amenaza y la vulnerabilidad de los elementos que se encuentren expuestos. Las amenazas evaluadas incluyen movimientos en masa tipo deslizamiento en zonas de ladera, avenidas torrenciales en cauces confinados y semiconfinados, inundaciones lentas y rápidas en cauces con cualquier tipo de confinamiento morfométrico, incendios de coberturas vegetales. Por su parte, las condiciones de vulnerabilidad fueron planteadas por la condición intrínseca integral de los elementos potencialmente expuestos, considerando variables sociales, económicas e institucionales en cuanto a infraestructura y capacidad de respuesta.

El cálculo de riesgo en este tipo de análisis suele representarse en la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad, ambas planteadas como variables continuas en función de la posibilidad de ocurrencia de los fenómenos naturales y las características del territorio; por lo cual, el resultado de la zonificación de riesgo no se imprime directamente por la condición de amenaza por sí misma, sino que se ve modificado sensiblemente por los resultados obtenidos en materia de vulnerabilidad. Así se permite generar, a pesar de las limitaciones obvias de la escala de análisis, resultados de condiciones de riesgo holístico que consideran más variables que las meramente físicas y con las cuales se puede en adelante identificar zonas para priorizar acciones de reducción de riesgo.

En particular para la zonificación espacial de riesgo, al ser las amenazas y la vulnerabilidad variables discretas y en cumplimiento de la estandarización de información para POMCA's, se puede agregar al análisis espacial el cruce entre la zonificación de amenazas (por movimientos en

masa, inundación, avenidas torrenciales, incendios de coberturas vegetales) y la capa de vulnerabilidad utilizando la metodología de matriz de reconocimiento de riesgo planteada por el Protocolo para la incorporación de la Gestión de Riesgo en POMCAS, la cual se muestra a continuación (*Tabla 621*).

TABLA 621. MATRIZ PROPUESTA PARA LA CATEGORIZACIÓN DE NIVELES DE RIESGO

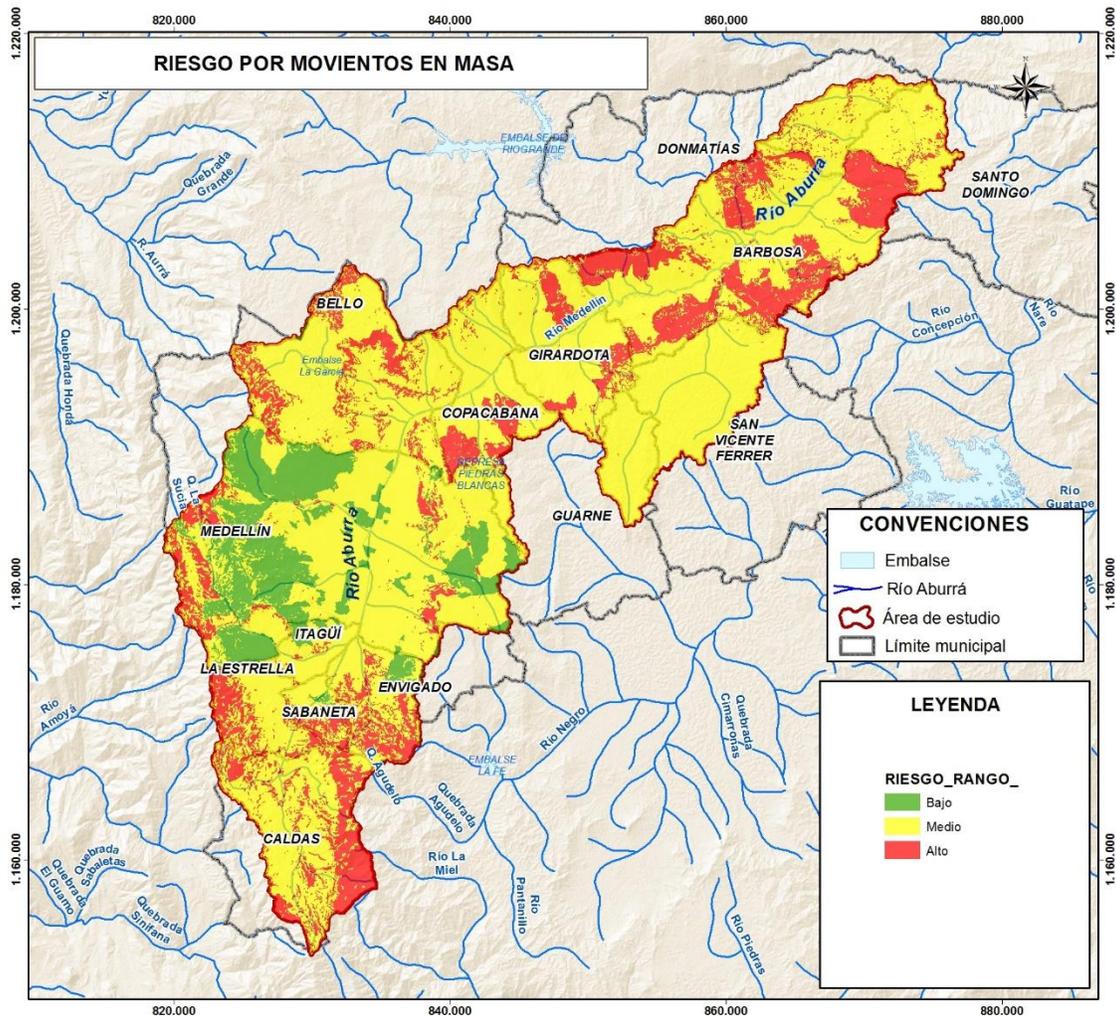
NIVELES DE AMENAZA	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA (30% A 75%)	NIVEL 1: BAJA (<30%)
ALTA	ALTA	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

FUENTE: PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN POMCAS

Dentro del análisis realizado por el equipo consultor, se decide priorizar aquellas zonas en donde el nivel de riesgo sea alto para la cuenca hidrográfica de Aburrá, se prioriza como escenario de riesgo principalmente las zonas de cuerpos aluviales de la zona norte y sur asociados al margen del río Aburrá, que presentan una condición de riesgo alto por inundaciones. Las zonas elevadas de los municipios de Sabaneta, Envigado, Caldas y La Estrella y algunas zonas de los municipios de Bello, Copacabana y Barbosa, así como de la ciudad de Medellín que presentan niveles de riesgo alto a movimientos en masa. Y toda la cuenca del río Aburrá, exceptuando el casco urbano de la ciudad de Medellín, con un riesgo alto a incendios forestales.

A continuación se describe cada uno de los resultados de riesgo para las amenazas evaluadas dentro de la cuenca del río Aburrá (*Figura 480*).

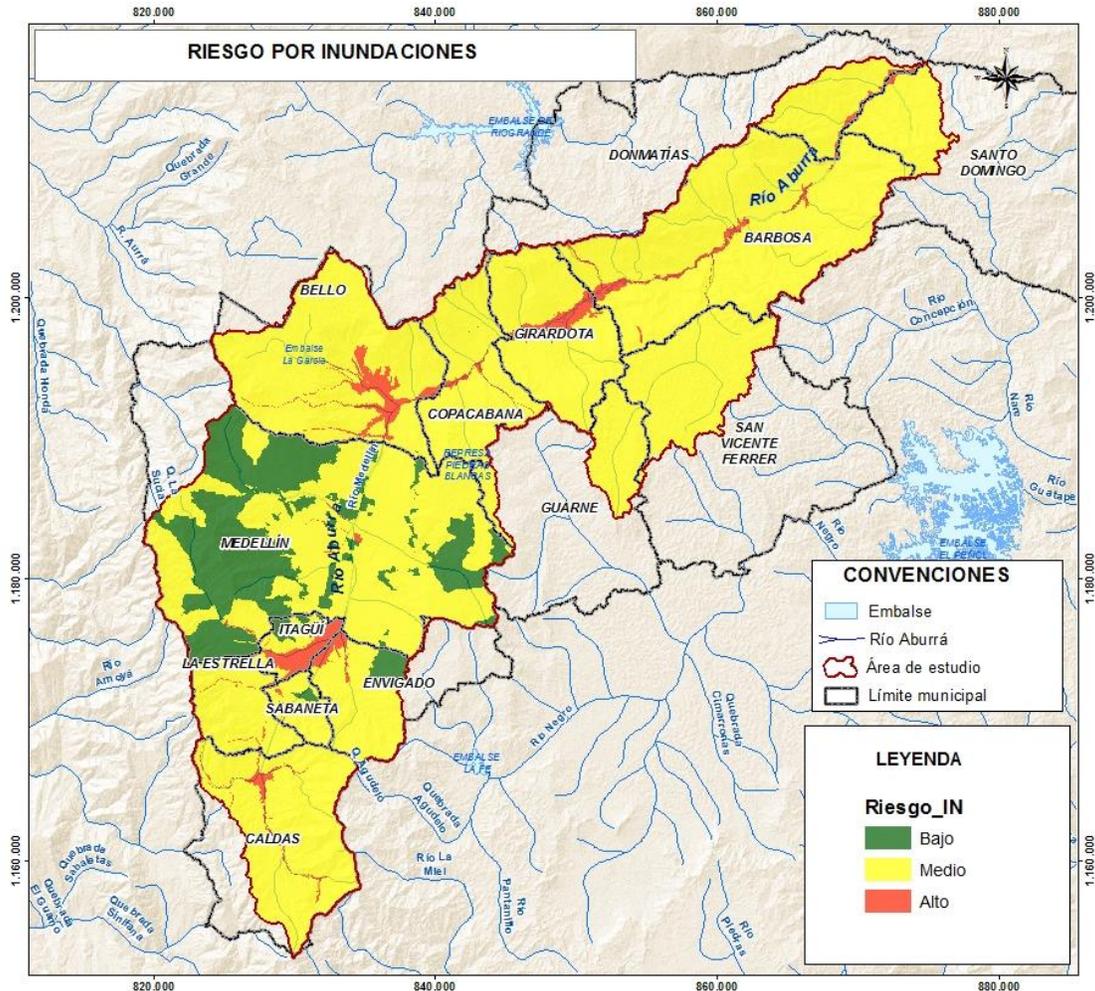
FIGURA 480. RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

El riesgo asociado a movimientos en masa en la cuenca del río Aburrá es predominantemente medio, a excepción de ciertos sectores de la ciudad de Medellín, donde predomina el riesgo bajo, al igual que en sectores del norte de Sabaneta, Itagüí y La Estrella y del este de Envigado. En algunos sectores de los municipios de La Estrella, Envigado, Sabaneta, Bello, Copacabana y Barbosa se observan zonas calificadas con riesgo alto por este tipo de amenaza, zonas que deben ser tenidas en cuenta dentro de la fase de prospectiva y formulación de la actualización del POMCA del río Aburrá, para sugerir proyectos y estudios que mitiguen el riesgo en estos sectores (*Figura 481*).

FIGURA 481. RIESGO POR INUNDACIONES

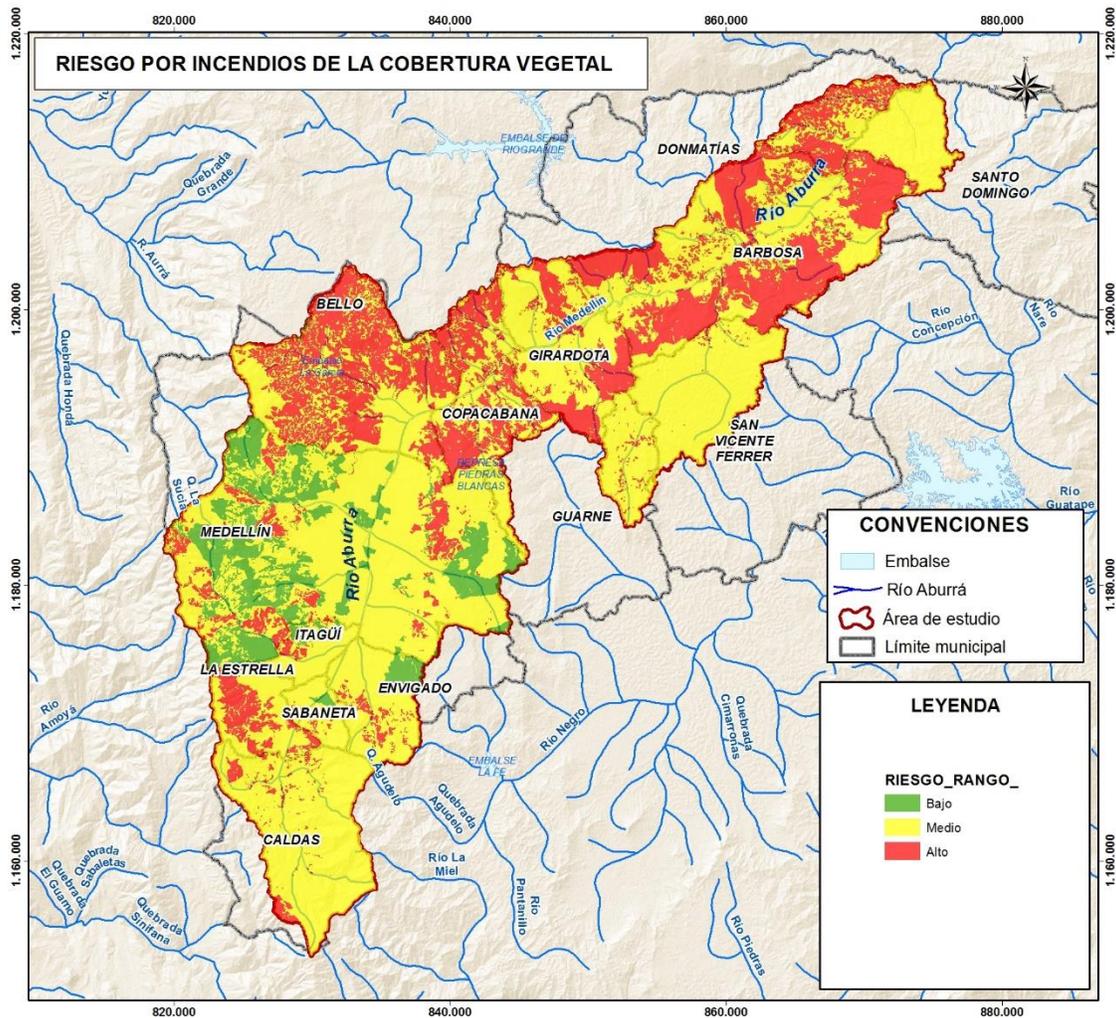


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

En cuanto al riesgo de inundaciones predomina la condición media a lo largo de la cuenca, seguida por la condición baja que se concentra en el área conurbada con unas franjas de riesgo medio. Esta condición se ve favorecida por los procesos de canalización, rectificación, profundización de corrientes. El riesgo alto se encuentra a lo largo del río Aburrá, en los municipios de Caldas, Itagüí, Sabaneta, Bello en forma adicional en tributarios del Aburrá-, Girardota, Barbosa, Donmatías y Santo Domingo. Para los sectores con riesgo alto es necesario, en las fases de prospectiva y formulación del POMCA del río Aburrá, analizar medidas de mitigación y evaluar la ejecución de proyectos y estudios de detalle que permitan conocer a una mejor escala la dinámica del río Aburrá y de los

afluentes que se encuentran en un nivel de riesgo alto e incluir análisis de variabilidad climática intrínsecos a esta amenaza (*Figura 482*).

FIGURA 482. RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES

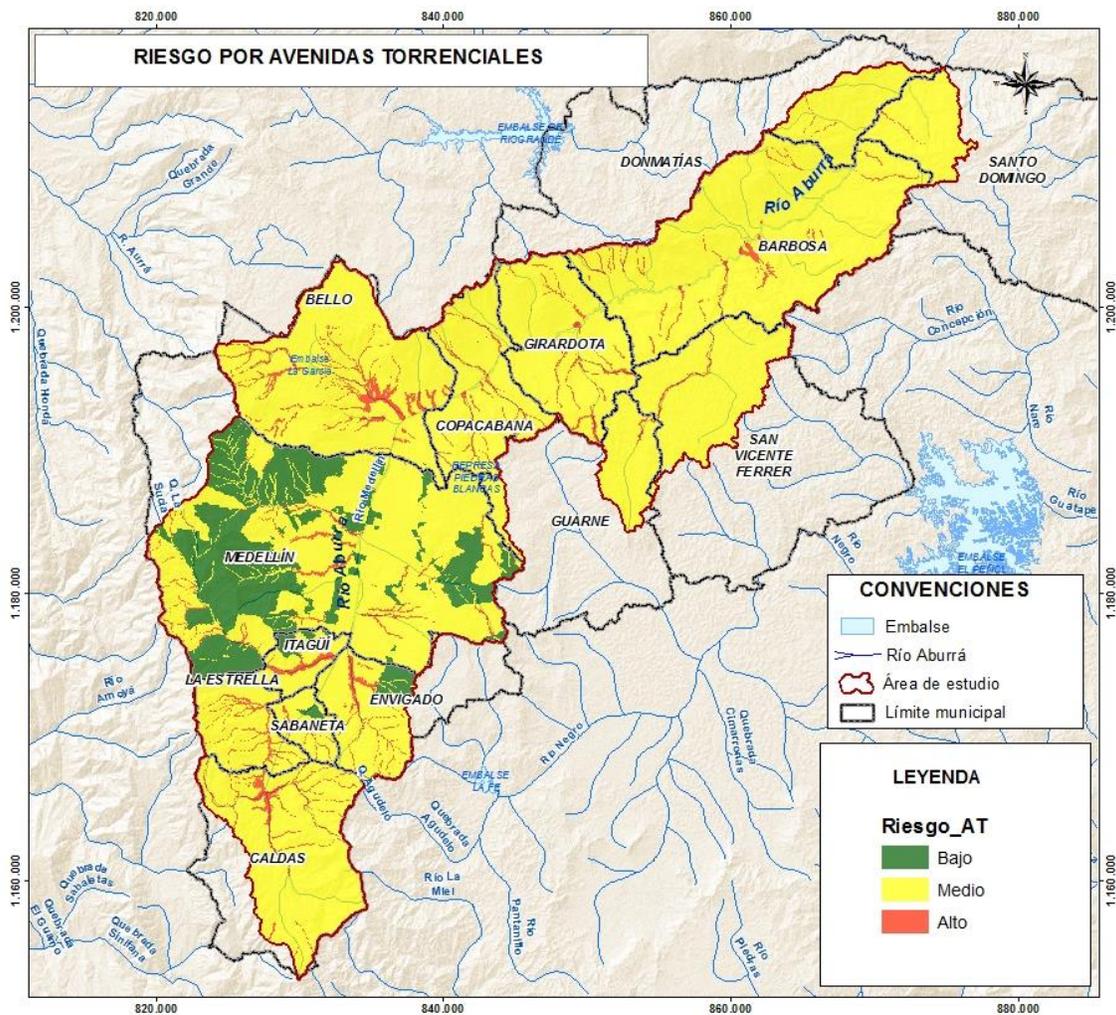


FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

El riesgo de incendio de coberturas vegetales es predominantemente alto en la cuenca baja y en sectores de la cuenca media. El riesgo medio es más evidente en la cuenca alta, donde se localizan la mayor parte de áreas protegidas y en el sector oeste de los municipios de Copacabana y Girardota. Por su parte, el riesgo bajo esta en la ciudad de Medellín, Itagüí, Envigado y Bello, por las

características urbanas de su territorio. Esta amenaza socio natural es la que se debe priorizar dentro de las fases de formulación y prospectiva de este proyecto, ya que una gran porción de la cuenca cuenta con zonas de riesgo alto; es importante generar espacios sociales efectivos que permitan generar conciencia en la comunidad de los niveles de amenaza latente en la zona; adicionalmente, dado que la metodología utilizada para la zonificación de amenaza por incendios forestales maneja un nivel de escala menor, se hace necesario revisar qué tipos de estudios detallados son los más efectivos para zonificar a una mayor escala este tipo de amenaza y por ende la condición de riesgo implícita (*Figura 483*).

FIGURA 483. RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

Finalmente, el riesgo asociado a las avenidas torrenciales es predominantemente medio, seguido de una condición baja en el área conurbada y unas zonas localizadas de riesgo alto en los municipios de Caldas, La Estrella, Itagüí, Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa y en menor proporción Santo Domingo y Don Matías.

2.7.13. Análisis de elementos expuestos

Dentro de la cuenca se encontraron elementos de infraestructura vital (*Figura 484*), distribuidos a lo largo de la cuenca del río Aburrá y concentrados en el área urbana de la ciudad de Medellín y en sectores aledaños al río Medellín, zonas que presentan una condición de amenaza alta para cada uno de los eventos amenazantes de origen natural evaluados dentro de la cuenca.

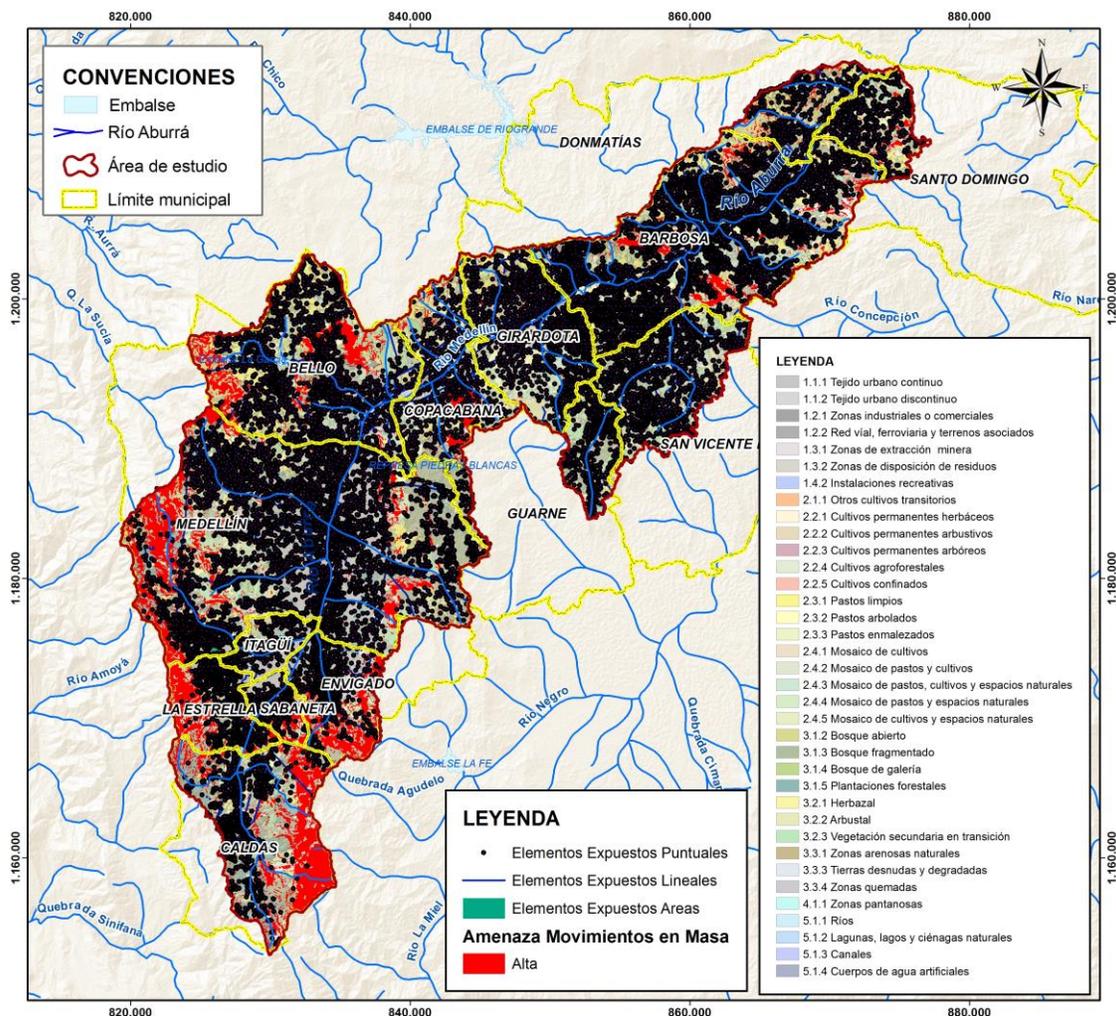
Los elementos expuestos se han clasificado de acuerdo al tipo de funcionalidad que estos representan dentro de la dinámica socio natural de la cuenca (*Tabla 622*) en infraestructura vial asociada a la accesibilidad a una zona, centros de acopio, infraestructura asociada a los servicios de respuesta ante una emergencia e infraestructura de suministros de servicios básicos. Puntualmente, se observa que en la cuenca del río Aburrá existe un alto número de instituciones educativas expuestas y centros de salud expuestos.

TABLA 622. NÚMERO DE ELEMENTOS EXPUESTOS

PRESTACIÓN DE SERVICIOS	
Salud	53
CENTROS DE ACOPIO	
Establecimientos educativos	268
CORREDORES VIALES	
Vías tipo 1	
Vías tipo 2	
Vías tipo 3	
Vías tipo 4	
Vías tipo 5	
Vías tipo 6	
Senderos	

FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

FIGURA 484. ELEMENTOS EXPUESTOS EN ZONAS DE AMENAZA ALTA



FUENTE: ACTUALIZACIÓN POMCA RÍO ABURRÁ. 2016

2.7.14. Recomendación e identificación de necesidades de información e investigación

Si bien el desarrollo normativo y contractual del POMCA permite dar un panorama de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en la cuenca del río Aburrá, su resultado debe ser solo una de las herramientas para la toma de decisiones en la definición de metas, planes y proyectos en gestión integral de riesgo, las cuales deben ser programadas por los entes locales y territoriales desde sus propios instrumentos de ordenamiento territorial y de gestión del riesgo. Por consiguiente, toda decisión de acción puntual debe estar soportada por análisis de detalle, que requieran la rigurosidad técnica propia de esa escala de análisis y no interpretar estos resultados de amenaza y riesgo regionales como los definitivos y suficientes para la definición de obras, reasentamientos de familias, restricciones de uso de suelo y demás acciones que afecten o favorezcan el uso del mismo.

En las áreas urbanas se deben desarrollar análisis para la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con mayor detalle para que dentro del ordenamiento urbano y de expansión urbana se tomen las decisiones prescriptivas y prospectivas del territorio. Para ello es recomendable orientar los análisis y la generación de información primaria, considerando las siguientes necesidades:

- Una base de datos catastral para los cascos urbanos de los municipios y, de ser posible, en todos los centros poblados de la cuenca incluyendo como mínimo características constructivas, número de pisos, uso y vetustez para diferenciar condiciones de fragilidad física para distintos eventos amenazantes y definir panoramas de riesgo físico y total para escenarios sísmicos por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.
- Información primaria geológica, geomorfológica, de coberturas vegetales, topográfica, batimétrica, exploración y zonificación geotécnica para procesos de análisis determinísticos en el marco de los instrumentos de ordenamiento territorial, requeridos para cada municipio según lo reglamentado por la ley 388 de 1997, los decretos 4300 de 2007, 1469 de 2010, 1807 de 2014, 1077 de 2015 y 1203 de 2017 y demás normativa relacionada con el ordenamiento territorial.
- Estudios regionales de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo urbano, por medio de la identificación de áreas específicas con condición de riesgo que requieran acciones de mitigación y reducción en el corto y mediano plazo, sobre las cuales se

deberán ejecutar estudios con análisis de estabilidad de taludes, modelación hidrodinámica y de capacidad hidráulica de la red de drenaje con evaluación de alternativas, entre las que se deben considerar diseños de obras civiles de contención de laderas, reconformación morfométrica del relieve, estructuras de drenaje y manejo de aguas, protección de los márgenes de los cauces y aumento de su capacidad hidráulica, diseño de aliviaderos y otras estructuras de contención y control de sedimentos, caracterización de vulnerabilidad social para relocalización transitoria de familias o su reasentamiento definitivo y programas de acompañamiento e integración social de las mismas en sus nuevos espacios socioculturales orientado a la reconstrucción del tejido social.

- Evaluación de las estrategias de respuesta a emergencias, planes de emergencia y contingencia y planes institucionales de respuesta a emergencias.

Las áreas rurales deben ser sometidas a análisis más rigurosos en función de las decisiones que se deban tomar sobre su uso. Si se desea realizar un aprovechamiento del suelo que represente la ejecución de proyectos de infraestructura vital, tales como programas de mejoramiento integral de vivienda rural, vías, embalses, colectores, plantas de tratamiento de agua, líneas de alta tensión, conducción de agua potable, ductos, poliductos y demás redes de transporte de servicios públicos y privados y en general para toda obra civil lineal o puntual que implique la exposición permanente o flotante de vidas humanas, se hace necesario el trazo de un área de influencia a la cual se le debe realizar estudios detallados que contemplen:

- Evaluaciones de viabilidad predial técnica y financiera, considerando la zonificación regional de amenaza y riesgo generada en este estudio, en donde el trazado de alternativas busque dar preferencia a aquellas áreas que se encuentren en amenaza baja o media por inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa.
- Información primaria geológica, geomorfológica, de coberturas vegetales, topográfica, batimétrica, exploración y zonificación geotécnica para procesos de análisis determinísticos en el marco de la definición de medidas de mitigación de amenaza, reducción de riesgo y protección de infraestructura pública y privada según lo ordenado en la ley 1523 de 2012, ley 400 de 1997 (modificada por la ley 1229 de 2008), decreto 926 de 2010, especificaciones técnicas INVIAS para puentes y vías y demás normativa relacionada con construcción de infraestructura.



control urbano ni cuentan con infraestructura o equipamientos suficientes debido a su informalidad; sin embargo, en ellos se forman nichos culturales, sociales y económicos con dinámicas locales propias que generan interdependencia con los sectores formales, por lo cual deben ser objeto de tratamiento especial dentro de los proyectos que se desarrollen enfocados a la gestión integral del riesgo territorial.

Las fronteras urbano rurales y de crecimiento informal han presentado procesos de consolidación y dinámicas de crecimiento urbano, que conviene cuantificar con objeto de establecer control urbano que incluya la revisión de oportunidades de legalización total o parcial y acciones de reubicación o reasentamiento, si llega a ser necesario. Este tipo de acciones evidentemente se escapan del análisis de riesgo del presente diagnóstico, no obstante, deberán contemplarse para la toma de decisiones en función de las condiciones de riesgo detallado, como complemento, por supuesto, a las variables que se deben tener en cuenta para un proceso de legalización y regularización de un sector urbano rural informal. Como un proceso de esta complejidad requiere información más detallada e integral que el POMCA no alcanza a contemplar en su alcance, es preciso que se establezca una articulación interinstitucional que destine esfuerzos, recursos y tiempo de manera apremiante en la gestión integral del riesgo iniciando en estos sectores. Desde su competencia, cada una de las instituciones debe ejercer control urbano, integración social y ambiental relacionados con el ordenamiento territorial urbano y rural, protección de recursos naturales y fortalecimiento del tejido social y cultural.

La existencia de extracción de materiales minerales en modalidad de galerías o a cielo abierto de manera no controlada (puntos mineros no legalizados o sobreexplotación de los niveles permitidos), puede aportar a las condiciones de susceptibilidad de las laderas a presentar problemas geotécnicos asociados a movimientos en masa y subsidencia del terreno. Sin embargo, la extracción de materiales no es una causa por sí misma de problemas geotécnicos y los procesos de inestabilidad son más complejos y dependen de muchas más variables, razón por la cual este aspecto también debe ser objeto de estudio, de manera que se logre identificar la influencia de la minería en los deslizamientos y demás movimientos en masa asociados a este factor.

Paralelamente a los avances que se deben generar en el conocimiento local de la relación “minería-deslizamiento”, es preciso que las autoridades competentes busquen regular, revisar y supervisar las medidas de manejo integral para la extracción de recursos minerales. Estas actividades productivas, que aportan al desarrollo integral de la comunidad, deben ser supervisadas para que exista un efectivo control y legalización de los esquemas de extracción, pues pueden existir puntos mineros

que afectan al recurso hídrico, mediante la disposición de estériles asociados a la extracción de oro aluvial y de materiales para construcción. Dicha regulación y supervisión debe orientarse para que no se agraven las condiciones de amenaza y riesgo por causa de las actividades de extracción.

2.7.14.1. Amenaza por movimientos en masa

Si se requiere analizar en detalle predios o áreas particulares que vayan a ser objeto de cualquier destino de uso de aprovechamiento, conviene realizar estudios detallados de amenaza y riesgo, debido a que los resultados obtenidos consideran las condiciones que favorecen o desfavorecen la ocurrencia de movimientos en masa, pero no indican directamente su magnitud ni alcance. Por tanto, la zonificación presentada es un indicador de amenaza por movimientos en masa y no reemplaza los análisis detallados de las áreas que se verían directamente afectadas por la ocurrencia de movimientos en masa. Tampoco evalúa volumen desplazado ni distancia de viaje, características necesarias para la estimación detallada de vulnerabilidad y riesgo en elementos expuestos.

Considerando lo anterior, se recomienda condicionar el uso de las áreas en amenaza alta por movimientos en masa a la elaboración de análisis determinísticos detallados, que permitan definir las porciones de área que realmente se encuentran en amenaza alta, para que dependiendo del uso que se le vaya a dar se plantee la posibilidad de adaptarse y convivir con los movimientos en masa o el planteamiento de obras civiles que los mitiguen. Los estudios locales y puntuales deben incluir como mínimo geología, geomorfología, coberturas vegetales y zonificación geotécnica, insumos necesarios para análisis de estabilidad de taludes con diseño de alternativas de mitigación de amenaza como reconformación morfométrica de la ladera, obras civiles de contención, manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, bioingeniería y re naturalización o de reducción de riesgo como mejoramiento integral de vivienda, relocalización o reasentamiento de la población e infraestructura expuesta en dichas zonas.

2.7.14.2. Amenaza por inundaciones

Es recomendable ejecutar estudios locales y puntuales que incluyan como mínimo topografía y batimetría de detalle, insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en los cauces principales, los cuales permitan delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos y evaluar la pertinencia de medidas y obras de aumento de capacidad hidráulica (dragados del fondo de cauce, modificación de la sección transversal del cauce, ampliación y remplazo de superficie de márgenes, redistribución de

pendientes, entre otras), protección de márgenes (caissons o pilotes, enrocados, bolsacretos, canalización rígida, etc.) y protección ante desbordamiento (jarillones, muros, canales paralelos de alivios de cauda, llanuras inundables, entre otras) o el reasentamiento de familias y relocalización de infraestructura estratégica.

También es importante contar con una red propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo del cauce principal del río Aburrá, con las que se pueda recolectar información pluviométrica de detalle complementaria a información sinóptica por variabilidad climática y cambio climático. A través de esta información, se aporta a la modelación hidrológica e hidráulica de las condiciones de niveles y velocidad de flujo del cauce principal en función de las variaciones de caudal provocadas por eventos de variabilidad climática y cambio climático.

Adicionalmente, formular mecanismos de adaptación a la amenaza por inundación dentro de las actividades o destinos de uso que se vaya establecer a cada sector de la cuenca. Las inundaciones pueden generar afectación en términos de gran extensión, pero la recuperación pos evento para este tipo de amenaza es la más práctica con consecuencias controlables, si se llevan a cabo los mecanismos de adaptación adecuados en lugar de establecer restricciones directas de uso.

2.7.14.3. Amenaza por avenidas torrenciales

A pesar que se lograron buenos resultados de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales y se hicieron análisis adicionales a los métodos exigidos en los alcances técnicos, estos tienen un enfoque de identificación de los cuerpos de agua que pueden presentar este tipo de fenómenos físicos y su posible afectación en caso de ocurrencia. De manera que se deben adelantar estudios locales y puntuales que incluyan topografía y batimetría de detalle, y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca, orientados a delimitar con mayor precisión el área de influencia de este tipo de fenómenos.

Dentro de las zonas en las que por estudios en escala de detalle se confirme la condición de amenaza alta, se deberán ejecutar programas de reasentamiento, recuperación ambiental y re naturalización de áreas expuestas por este tipo de amenaza. También es importante contar con una red de propia de instrumentación hidrometeorológica con al menos una estación pluviográfica por cada subcuenca y sensores de nivel a lo largo del cauce principal del río Aburrá, con las que se

pueda recolectar información pluviométrica de detalle complementaria a información sinóptica por variabilidad climática y cambio climático.

De manera similar a las zonas de amenaza alta por avenidas torrenciales, las de amenaza media deben ser sometidas a estudios locales y puntuales que incluyan como mínimo topografía y batimetría de detalle y todos los insumos necesarios para modelaciones hidrodinámicas y de capacidad hidráulica de la red de drenaje en cada subcuenca, así permitan delimitar con mayor precisión del área de influencia de este tipo de fenómenos y evaluar la inminente necesidad de reasentamiento de familias y relocalización de infraestructura estratégica o la posibilidad del diseño de obras de drenaje, estructuras de contención, recuperación natural del cauce y manejo de aguas residuales, que permitan mitigar las condiciones de amenaza en algunos sectores para condicionar su uso y aprovechamiento.

2.7.14.4. Amenaza por incendios de cobertura vegetal

Como se indica en las recomendaciones y necesidades generales, se hace necesario consolidar una base de datos georreferenciada y unificada que le permita a los diferentes actores de riesgo consultar información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes. En este en específico, es necesario que se garantice que los eventos por incendios forestales se georreferencien acertadamente en adelante, en cuanto a ubicación y espacialización tipo polígono que represente el área de afectación de cada uno.

Con el fin de mitigar la amenaza por incendios forestales o de coberturas vegetales, se deben tomar medidas de divulgación, orientación y capacitación para reducción de actividades detonantes como quemas indiscriminadas de cultivos y demás que pueden generar focos de ignición de la cobertura vegetal.

Potencializar la concientización sobre las consecuencias de los incendios forestales y el fuerte deterioro de la capa vegetal que estos producen, así como promover la conservación de ecosistemas estratégicos de la cuenca, los cuales una vez afectados por eventos de ignición de la capa vegetal, nunca pueden llegar a recuperarse completamente.

2.7.14.5. Generales de amenaza, vulnerabilidad y riesgo

Dentro de las recomendaciones generales y necesidades de información que pueden aportar al mejoramiento del conocimiento de las condiciones de riesgo, se resalta lo siguiente:

- Es necesario y oportuno ejecutar estudios de precio de la tierra, teniendo en cuenta la espacialización de coberturas y usos del suelo, pues su ausencia en escalas mayores a municipio o vereda estanca los análisis de costos de reposición e indicadores de exposición dentro de las evaluaciones holísticas de riesgos.
- Para análisis de vulnerabilidad social e institucional, se recomienda realizar censos rurales y urbanos levantando información específica de condiciones de sociales, económicas, conocimiento de riesgos y demás relacionados con la percepción de amenazas, exposición, capacidad de respuesta y riesgo. La evaluación de riesgo a la escala presentada se vio limitada por la resolución y actualización de estas variables, por lo cual se evitó estimar costos de reposición y posibles daños o afectaciones provocadas por las diferentes amenazas encontradas y estudiadas.
- Se hace necesario consolidar una base de datos georreferenciada y unificada que permita a los diferentes actores de riesgo consultar información básica (daños, afectaciones, magnitud) de los eventos amenazantes, de manera que dicho catálogo se alimente a lo largo de la historia y los análisis de probabilidad de ocurrencia sean mucho más asertivos. En este específico, es necesario que se garantice que los eventos por incendios forestales se georreferencien acertadamente en adelante pues carece de históricos espacializados adecuadamente para conocer su ubicación y extensión.
- La cuenca del río Aburrá presenta escenarios de alta amenaza para inundaciones, avenidas torrenciales, movimientos en masa e incendios forestales dentro de la misma, si bien el resultado de la aplicación de cada una de las metodologías muestra una condición regional de la cuenca, es importante que dentro de las sugerencias y recomendaciones orientadas a la gestión del riesgo se tenga en cuenta la generación y revisión de estudios detallados, orientados al control y mitigación de aquellas zonas que han sido zonificadas en condición de amenaza.
- Es necesario obtener mayor detalle en la información para la identificación y caracterización de los centros poblados en zonas que localmente evidenciaron condiciones de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo para cada una de las amenazas evaluadas dentro de la cuenca.

- Luego de realizar un análisis completo asociado a las condiciones de riesgo implícitas, se observa una necesidad de conocimiento y divulgación en la comunidad y hacia los actores específicos del riesgo sobre la percepción y mitigación del mismo, a través de espacios sociales efectivos que alimenten el conocimiento de las amenazas en cada sector.
- La cuenca del río Aburrá ha alimentado su conocimiento en gestión del riesgo basado en estudios regionales y satélites, principalmente en la ciudad de Medellín, además mantiene un seguimiento de variables que se ven involucradas en las amenazas dentro del SIATA, sin embargo, es recomendable fortalecer el conocimiento comunitario generando vías y canales, conocimiento bilateral que le brinden a la comunidad, herramientas orientadas a la concepción y mitigación del riesgo y a las entidades retroalimentar sus estrategias de gestión integral del riesgo dentro del territorio.
- Espacios liderados por el consejo de cuenca son esenciales dentro del aprendizaje y comprensión de la gestión del riesgo, de forma similar es importante formular espacios que brinden conocimiento del riesgo a la comunidad, incluso desde la formación académica básica, buscando mantener una cultura en el largo plazo sobre la prevención y respuesta a desastres siconaturales.
- Teniendo en cuenta las condiciones de la zona, es importante desarrollar más espacios en conjunto con las alcaldías municipales y entes locales en donde se propenda por un adecuado ordenamiento del territorio, considerando de la manera más asertiva posible las condiciones de amenazas y riesgos, así como la conservación de los escenarios hídricos (ríos y zonas de recarga), entendiendo que estos juegan un papel fundamental en la dinámica del agua sobre la superficie terrestre y la regulación de los sistemas hídricos.
- Generar fortalecimiento o creación de programas de entrenamiento, preparación y capacitación con el fin de fortalecer los equipos locales de respuesta, a la comunidad en general y a las entidades encargadas de responder ante una emergencia o desastre de origen siconatural.

- Los resultados obtenidos son indicativos para observar las zonas con mayor susceptibilidad y amenaza, para así ser considerada en análisis más detalladas dentro de las actualizaciones de instrumentos de ordenamiento territorial en todos los municipios y la ciudad de Medellín. Simultáneamente, es recomendable identificar y diagnosticar la efectividad de las obras civiles de mitigación de amenazas ejecutadas y en ejecución para replantear las zonas expuestas necesarias de estudios específicos.
- Se recomienda realizar estudios detallados de amenazas en las sectores hidrográficos tributarios de las quebradas, los cuales obtuvieron calificación de amenaza alta por avenidas torrenciales, considerando el fenómeno físico como la combinación de crecientes súbitas de caudal en cauces torrenciales con la detonación de movimientos en masa que aportarían material tras la ocurrencia de flujos canalizados o deslizamientos cerca del cauce del cuerpo de agua. Para ello, se deben considerar los fenómenos presentados en Salgar (Antioquia) en el año 2015 o el reciente caso de Mocoa (Putumayo) en marzo de 2017, que aportan comprensión de las condiciones de riesgo en Colombia y las metodologías adecuadas para su análisis, siempre combinando el criterio cualitativo y heurístico a partir de análisis geológico y geomorfológico, la modelación hidráulica de la torrencialidad de los cauces, la modelación geotécnica de la estabilidad de las laderas y la modelación del flujo de materiales sólidos y líquidos para que la zonificación no quede reducida a solo un aspecto y se logre integrar efectivamente todo el análisis mínimo que requiere un fenómeno de esta naturaleza (geológico, geomorfológico, hidrológico, geotécnico, hidráulico y físico en general).
- Establecer esquemas de monitoreo observacional e instrumental en combinación con capacitación comunitaria e institucional en el marco de la iniciación a Sistemas de Alerta Temprana (SATs), para así evitar exposición directa de vidas humanas en los instantes de ocurrencia de los fenómenos de avenidas torrenciales, inundaciones y movimientos en masa.