

Amenazas fluviales en el piedemonte amazónico colombiano*

Ameaças fluviais no piemonte amazônico colombiano

Fluvial Hazards in the Colombian Amazon Piedmont

Kim Robertson**

Miguel A. Castiblanco***

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

Resumen

Este artículo presenta los resultados de una investigación sobre las amenazas ambientales de origen fluvio-volcánico y fluvio-torrencial que podrían afectar a la población del piedemonte amazónico colombiano. Esta región comprende una amplia zona sur-central del país sobre la cual se posee una cartografía deficiente y escasa información secundaria sobre geología, geomorfología, hidrología y climatología. Por lo tanto se llevó a cabo un análisis geomorfológico regional de imágenes satelitales (*Landsat*) y de aerofotografías locales que permitieron identificar las geoformas principales y los procesos morfo-dinámicos asociados a eventos ambientales extremos. Finalmente, se identificaron tres factores ambientales capaces de generar graves impactos en la región: las erupciones volcánicas, los terremotos fuertes y las lluvias torrenciales.

Palabras clave: abanicos fluvio-volcánicos, amenazas naturales, geomorfología, neotectónica, piedemonte amazónico.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa sobre as ameaças ambientais de origem flúvio-vulcânico e flúvio-torrencial que poderiam afetar à população do piemonte amazônico colombiano. Esta região compreende uma ampla zona sul-central do país sobre a qual existe uma cartografia deficiente e escassa informação secundária sobre geologia, geomorfologia, hidrologia e climatologia. Portanto realizou-se uma análise geomorfológica regional de imagens satelitais (*Landsat*) e de aerofotografias locais que permitiram identificar as geoformas principais e os processos morfodinâmicos associados a eventos ambientais extremos. Finalmente foram identificados três fatores ambientais capazes de gerar graves impactos na região: as erupções vulcânicas, os terremotos fortes e as chuvas torrenciais.

Palavras-chaves: leques flúvio-vulcânicos, ameaças naturais, geomorfologia, neotectônica, piemonte amazônico.

Abstract

The article presents the research results regarding the environmental threats caused by fluvial-volcanic or fluvial-torrential factors that could affect the population of the Colombian Amazon Piedmont. This region includes a large area in the south-central part of the country regarding which there is deficient cartography and scarce secondary information about geology, geomorphology, hydrology, and climatology. For this reason, a regional geomorphologic analysis of satellite images (*Landsat*) and local aerial photos was carried out, which made it possible to identify the main geological formations and the morphodynamic processes associated with extreme environmental events. Finally, it was possible to identify three environmental factors capable of having great impact on the region: volcanic eruptions, strong earthquakes, and torrential rains.

Keywords: fluvial-volcanic fans, natural threats, geomorphology, neotectonics, Amazon Piedmont.

RECIBIDO: 30 DE JUNIO DEL 2011. ACEPTADO: 30 DE SEPTIEMBRE DEL 2011.

Artículo de investigación sobre las amenazas ambientales que pueden afectar el piedemonte amazónico colombiano, especialmente las de origen fluvio-volcánico y fluvio-torrencial.

* Una versión inicial de este trabajo fue presentada en el VII Ciclo Anual de Conferencias del Departamento de Geografía *Amenazas y Riesgos Naturales y Antropogénicos*, Universidad Nacional de Colombia, 2009.

** Dirección postal: Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Departamento de Geografía, ed. 212, of. 321.

Correo electrónico: grobertsonk@unal.edu.co; kgrobertson@hotmail.com

*** Dirección postal: Carrera 10A n.º 1-18 Chía, Cundinamarca, Colombia.

Correo electrónico: macastiblanco@unal.edu.co

Introducción

Este documento constituye un aporte importante para las investigaciones sobre riesgos naturales, y desarrollo regional y urbano en el piedemonte amazónico. En un primer momento, este artículo presenta una discusión sobre los fundamentos teóricos que sustentan la investigación y que dan lugar al diseño de una metodología general. Luego, se indican las técnicas y métodos a utilizar, los resultados esperados y un cronograma para el desarrollo del proyecto. En este artículo se analizan los riesgos naturales de tipo ambiental ocasionados por eventos naturales extremos, derivados de la dinámica fluvial y de vertiente, los cuales pueden afectar a grupos humanos e incidir en los ambientes urbanos (Cooke y Doornkamp, 1990 y Smith, 1996).

Aunque el área de estudio se desarrolla sobre el piedemonte amazónico, el trabajo hace algunas precisiones sobre los centros urbanos específicos, en especial sobre las zonas urbanas de Florencia, San Vicente, Villa Garzón y Mocoa. El énfasis se hará sobre la dinámica de las cuencas hidrográficas de los ríos Orteguaza, Caquetá y Putumayo, y sobre sus afluentes principales debido a su relación con el sistema de transporte, el desarrollo regional y los riesgos naturales.

Marco conceptual

A finales del siglo XX, el tema de los riesgos naturales adquirió una posición destacada en la discusión sobre los problemas ambientales, y la planificación regional y urbana. Este interés creciente se relacionaba básicamente con tres hechos importantes: la ocurrencia de numerosos desastres relacionados con eventos ambientales extremos; el reconocimiento de procesos naturales de gran magnitud conocidos como una manifestación del neo-catastrofismo; y el incremento de la población vulnerable a los fenómenos naturales a nivel mundial, en especial, en los centros urbanos.

Durante los años setenta y ochenta, varios desastres naturales generaron una gran pérdida de vidas, afectaron regiones y poblaciones importantes. Por ejemplo, se presentaron sequías y hambrunas en la región del Sahel en África, terremotos en los años setenta que devastaron a China central y erupciones volcánicas como las del monte Santa Helena en Estados Unidos y la del nevado del Ruiz en los Andes colombianos (Smith 1996). Estos desastres son ocasionados por eventos ambientales extremos próximos a centros urbanos

que, posteriormente, afectaron ecosistemas fundamentales para las regiones, inclusive naciones enteras, tal como sucedió durante el fenómeno del Niño entre 1983 y 1984 en la zona costera de Perú y Ecuador. Las poblaciones no estaban preparadas para afrontar estas condiciones ambientales extraordinarias pues, sencillamente, superaron la capacidad de respuesta de los gobiernos locales. Cabe resaltar que aunque las amenazas ambientales ocurren con una frecuencia irregular, los llamados desastres naturales se generan debido a la presencia de condiciones extremas próximas a los centros poblados (Wilches 2000).

Según Smith (1996), las amenazas ambientales pueden agruparse según su origen en: geológicas, hidrometeorológicas, litorales, biológicas y tecnológicas. Las amenazas geológicas incluyen, principalmente, procesos tectónicos tales como terremotos y erupciones volcánicas, con una distribución concentrada en el cinturón de fuego del océano Pacífico y el cinturón tectónico de los Alpes-Himalayas. Fundamentalmente, las amenazas hidro-meteorológicas abarcan las inundaciones y sequías extremas e incluyen los impactos por la variabilidad climática, tal como sucede con el fenómeno del Niño (Smith 1996). Sin embargo, muchas amenazas son de tipo complejo en las cuales los eventos iniciales como los sismos litorales puedan provocar tsunamis y, a su vez, inundaciones litorales catastróficas, tal como sucedió el 26 de diciembre del 2004 en Banda Aceh, Sumatra y gran parte del océano Índico. Esta catástrofe dejó alrededor de 300.000 muertos.

Metodología general

La metodología básica del trabajo parte de un análisis de los ambientes morfodinámicos, su clasificación y la zonificación para riesgos naturales en la zona del piedemonte. Se hace énfasis en las áreas donde los procesos morfodinámicos tales como la erosión, cambios de cauce y sedimentación presentan una mayor aceleración, en especial las zonas que presentan los mayores asentamientos humanos como son los abanicos aluviales activos de los ríos Caquetá, Putumayo y Orteguaza, así como las corrientes menores que atraviesan las áreas urbanas. La escala de trabajo varía de lo regional —con cartografía e imágenes de satélite disponibles a escala 1:500.000 y 1:100.000— a lo local o zonas urbanas que fueron examinadas a escala 1:40.000 aproximadamente, con base en aerofotografías disponibles del Instituto Geográfico Agustín Codazzi —en adelante, IGAC—.

Las principales técnicas para la evaluación de las amenazas naturales se asocian con tres enfoques básicos: a) análisis estadístico de datos instrumentados, b) análisis históricos y c) reconstrucciones paleo-ambientales. Este trabajo se concentra en el último enfoque, es decir, en la comprensión de los fenómenos naturales extremos y de su papel en la transformación del paisaje geomorfológico, también conocido como neo-catastrofismo. Este enfoque surge a partir de la comprensión de los eventos ambientales extremos como procesos naturales de gran magnitud pero poco frecuentes en los registros históricos dentro de la escala humana. Estos fenómenos son capaces de alterar la superficie terrestre y, por lo tanto, dejar huellas detectables en las geoformas, suelos y sedimentos superficiales (Bloom 1999). Aunque este enfoque no desconoce la información histórica ni la instrumentada, se apoya en la evaluación de los paleo-fenómenos bajo la premisa de que los eventos ambientales recientes en la superficie terrestre son altamente probables de renovarse o reactivarse. Por lo tanto, se considera que en el pasado reciente se encuentra la clave del futuro próximo.

Caracterización regional

Tradicionalmente, el área de estudio ha sido dividida en tres subregiones: la cordillera, el piedemonte amazónico y la llanura amazónica (Ingeominas 1994, IGAC 1999, Flórez 1995). Sin embargo, esta región corresponde a una de las zonas menos conocidas del país, en parte, por las deficiencias en la cobertura cartográfica, ser una selva tropical húmeda y problemas de seguridad.

Clima

El clima del piedemonte amazónico se caracteriza por un régimen cálido-húmedo, resultado del desplazamiento a través del año de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) o cinturón de bajas presiones, entre las latitudes 5° sur y 15° norte lo que trae consigo periodos de fuertes lluvias. A su vez, los sistemas de escala sinóptica provenientes del sureste de la Amazonía proveen grandes masas de humedad que se convierten en lluvias orográficas en su ascenso sobre las estribaciones de la cordillera (Pabón et ál. 2005), lo cual acentúa la formación de núcleos de precipitación que exceden los

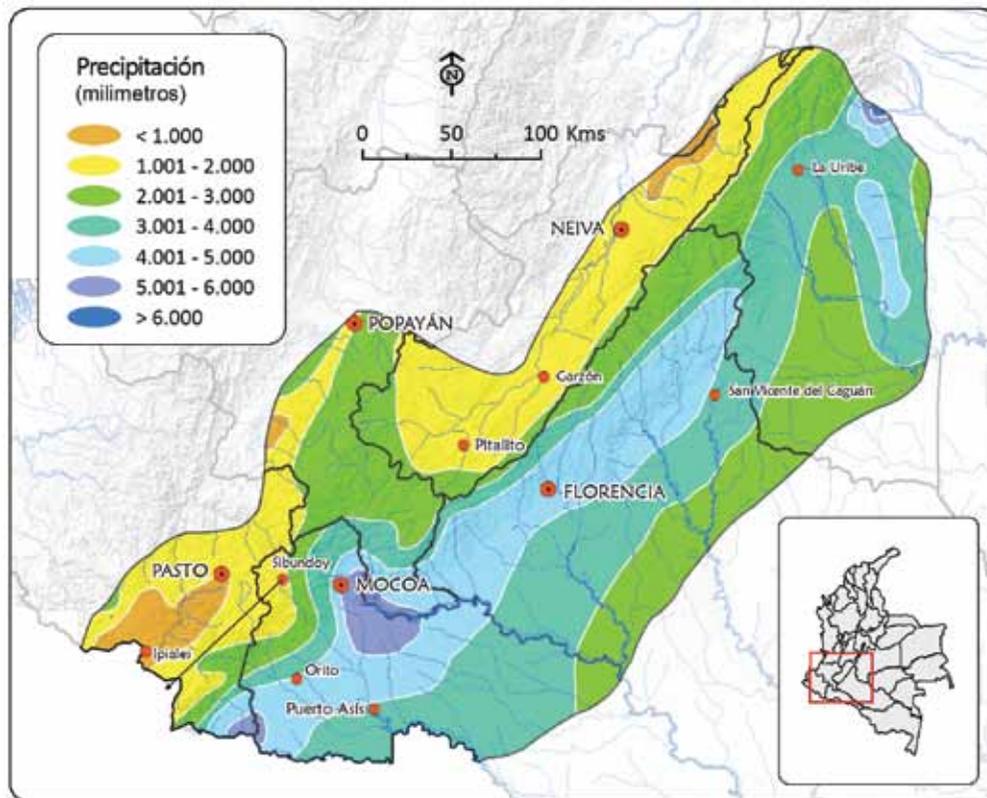


Figura 1. Distribución espacial y comportamiento temporal de la precipitación media anual en el piedemonte amazónico colombiano.

Fuente: adaptado de IGAC 1990 e IDEAM 2005.

4.000 milímetros anuales en proximidades a las ciudades de Florencia y Mocoa (figura 1).

El comportamiento regional del régimen pluviométrico es monomodal; la distribución temporal presenta una transición al periodo seco después de agosto; tendencias secas de noviembre a febrero; una transición hacia la temporada lluviosa en marzo y un periodo largo de fuertes lluvias entre los meses de abril y agosto. En estos meses de alta precipitación, es posible esperar lluvias durante más de 15 días al mes y precipitaciones extremas que sobrepasan en ocasiones los 200 milímetros en 24 horas.

De igual manera, se presentan años lluviosos que pueden llegar al orden de 300 días al año con lluvia. Estos valores altos de precipitación para la región —en la que se producen fuertes tormentas, descargas eléctricas y abundantes lluvias— inciden con mayor fuerza en la génesis de procesos como de remoción en masa, crecientes súbitas o en la ocurrencia de eventos extremos como las avalanchas torrenciales. La temperatura del aire presenta un comportamiento casi uniforme durante los doce meses, con tendencia a valores ligeramente más bajos a mediados de año. Los registros de la variación de la temperatura diurna en el piedemonte amazónico oscilan generalmente entre los 10 °C y 33 °C (IDEAM 2005).

Geología regional

La geología regional del área se caracteriza por ser una zona de transición entre los bloques Ígneo-metamórficos levantados de la cordillera Oriental y Central de los Andes y las planicies disectadas dominadas por sedimentos terciarios poco tectonizados de la Amazonia (Ingeominas 2007). Aunque se presentan algunas similitudes, se puede distinguir dos subregiones a nivel geológico: el sector norte o Caquetá, asociado con la cordillera Oriental y una llanura amazónica disectada, y el sector sur o Putumayo, con la cordillera Central relacionada a una cuenca sedimentaria profunda y poco disectada. A continuación, se resume la geología básica regional con base en estas dos zonas y de acuerdo a la nueva cartografía y nomenclatura de Ingeominas 2007 (figura 2).

En el sector norte del área de estudio, la cordillera Oriental se relaciona con el Macizo de Garzón, un complejo ígneo-metamórfico de edad Precámbrica, de composición intermedia, compuesta por neis cuarzo-feldespático y micáceo, asociado con el levantamiento del escudo Guayanés. Al sur de Florencia, rocas volcano-sedimentarias de la Fm. Saldaña de edad Jurásica se encuentran imbricadas con el complejo ígneo-metamórfico del Macizo de Garzón. Finalmente, sobre las vertientes de la cordillera Oriental, en trampas estruc-

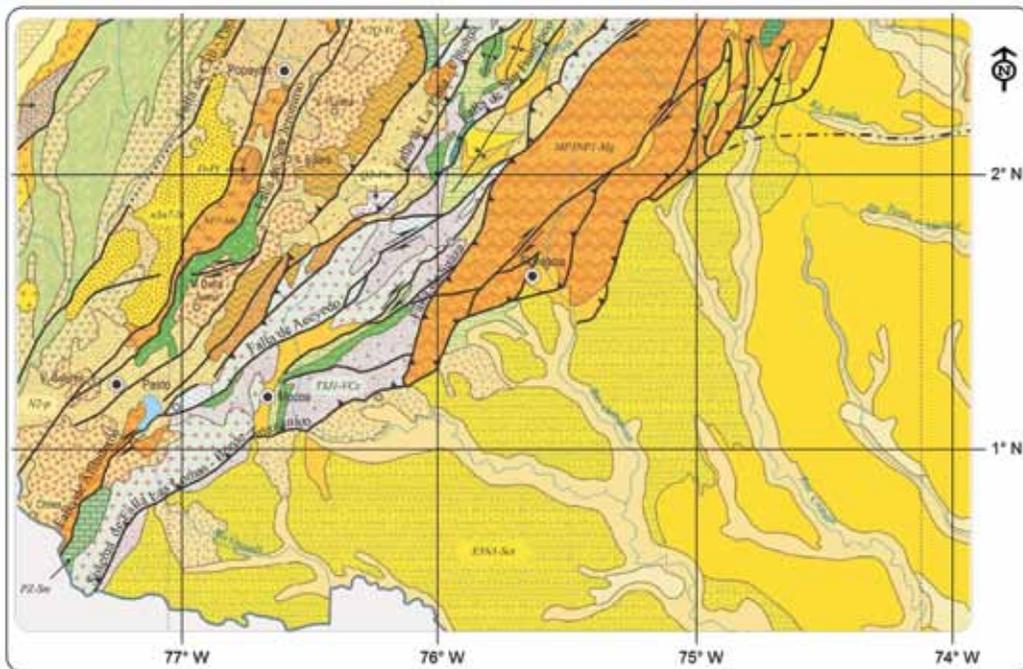


Figura 2. Mapa geológico regional que abarca el piedemonte amazónico colombiano.

Fuente: Ingeominas 2007.

* Se destaca el contraste entre los dos sectores: el piedemonte caquetense y el putumayense.

turales, se conservan fragmentos de antigua cobertura de rocas sedimentarias del Cretácico.

Para el sector de Putumayo, se observa una mayor complejidad estructural, con el complejo ígneo-meta-mórfico de la Cocha de composición similar al Macizo de Garzón, desplazado tectónicamente por rocas intrusivas de los batolitos jurásicos de Mocoa y Sobrerillo y la Fm. Saldaña. La composición dominante de los cuerpos intrusivos van desde granodiorita a monzogranito mientras las rocas volcano-sedimentarias de la Fm. Saldaña incluye tobas, flujos lávicos y aglomerados. Estos bloques tectónicos se encuentran intruídos por pórfidos de edad terciaria, asociados con la actividad volcánica reciente.

Según la cartografía regional, sobre los flancos de las cordilleras se presenta una mayor homogeneidad geológica con la presencia de rocas sedimentarias del Cretáceo de origen marino y rocas terciarias de ambiente continental. Las rocas cretácicas se caracterizan por ser areniscas cuazíticas duras y liditas con intercalaciones importantes de lutitas negras comparables, a nivel litológico, con las secuencias cretáceas del valle Superior del Magdalena, en especial las Fms. Caballos, Villeta y Guadalupe. Sobre las estribaciones de las cordilleras y el piedemonte afloran las rocas sedimentarias de edad Terciaria en la forma de conglomerados y areniscas epicontinentales con intercalaciones de arcillolitas de color amarillo y carmelito. Localmente, estos sedimentos conocidos como Fm. Pepino se encuentran intercalados con niveles de asfalto natural, resultado de la migración de hidrocarburos desde los niveles inferiores (Ingeominas 2007).

Sobre gran parte del piedemonte de la cuenca amazónica colombiana se presenta una cobertura de sedimentos terciarios, localmente denominados Fm. Orito, compuestos principalmente por arcillolitas limosas abigarradas y arenitas poco consolidadas y conglomerados. En la Amazonía central y sur se encuentran sedimentos similares con lentes locales de lignito que se conocen con el nombre de la Fm. Pebas de edad Terciaria superior. Estas rocas blandas comúnmente presentan una estratificación horizontal con leves indicios de deformación.

Además de los sedimentos terciarios, se encuentran numerosos depósitos fluviales, principalmente gravas, arenas y limos asociados con los abanicos y las terrazas aluviales de los ríos principales. Localmente, en el piedemonte del Putumayo, estos sedimentos se confunden con las rocas terciarias, los depósitos fluvio-

volcánicos y con varios niveles de terrazas aluviales, de acuerdo con los distintos mapas geológicos.

Tectónica regional

A nivel regional, se reconocen los sistemas tectónicos complejos de las cordillera Oriental y Central asociados localmente con el piedemonte amazónico. Aunque esta zona representa un área poco conocida a nivel nacional, se destaca el sistema de falla del Borde llanero y su continuación al sur por el sistema de fallas de Algeciras-Garzón que reaparece en el piedemonte del Putumayo donde se conoce como las fallas de Mocoa y Afiladores.

El sistema de la falla del Borde llanero es un sistema compresivo al interior de la cordillera Oriental y se manifiesta en la zona de estudio a través de la falla de Algeciras-Garzón. Esta falla a la altura de la región del Pato se convierte en un sistema transcurrente que presenta valles de tracción con formas trapezoidales alargadas como los de Balsillas y Algeciras en el Huila oriental. Más al sur, este sistema reaparece sobre el flanco oriental de la cordillera Central en forma de la falla de Guamués y Mocoa, y en el valle tectónico del Sibundoy con la falla de alfiladores. En cambio, sobre el flanco externo de la cordillera Oriental del Caquetá se localizan un conjunto de fallas menores y pliegues sub-paralelos al rumbo de la cordillera sin distinguir un sistema principal y solo leves indicios de deformación reciente.

Con respecto a la actividad sísmica, se destaca una distribución asimétrica con un mayor número de epicentros localizados sobre la cordillera Oriental, funda-

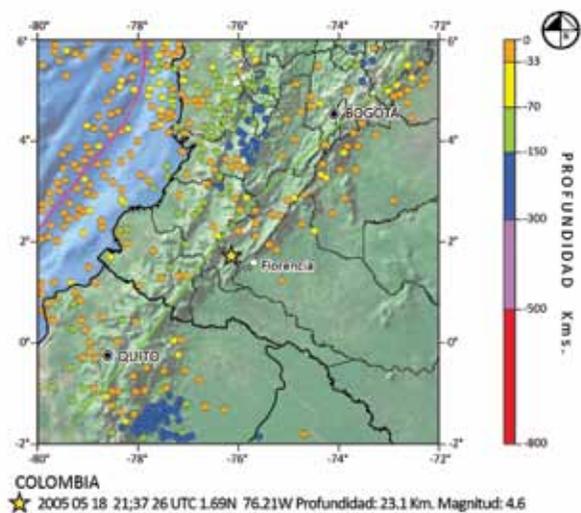


Figura 3. Sismicidad reciente.

Fuente: USGS-Neis.

mentalmente asociados al sistema del Borde llanero y a su continuación en la falla de Algeciras-Garzón. Esta interpretación sísmica también se refleja en los mayores eventos históricos: los sismos de Timaná y Vegalar, Huila en 1827 y 1967 respectivamente, ambos con intensidades superiores a IX (Ramírez 1975). Entre tanto, la actividad sísmica del sector sur o del Putumayo muestra un patrón más amplio que cubre toda la cordillera e incluye el gran sismo de Mocoa en el siglo XVIII. Curiosamente, la actividad reciente ha sido menos destacada, una anomalía que podría indicar la acumulación de energía y la eminencia de un evento importante en la zona del Putumayo (figura 3).

Actividad volcánica

A nivel regional, la actividad volcánica se concentra en la cordillera Central con numerosas evidencias de actividad reciente mientras en la cordillera Oriental, entre los departamentos del Huila y Caquetá, no se presentan reportes volcánicos. De norte a sur, se encuentran dos zonas volcánicas en la cordillera Central capaces de afectar el piedemonte amazónico: el sector Doña Juana-Las Ánimas y el sector Sibundoy-Guamués.

En la cuenca alta del río Caquetá, al sur del Páramo de las Papas, se encuentran numerosos picos glaciados, entre los cuales se destacan los estrato-volcanes de Las Ánimas y Doña Juana. Estas estructuras volcánicas se encuentran bien conservadas de actividad y flujos piroclásticos recientes, algunos de los cuales han afectado el drenaje de la vertiente amazónica. También, sobre la cuenca alta de los ríos de Putumayo y Guamués, en límites con los departamentos de Nariño y Putumayo, se destacan varios focos volcánicos incluyendo los de Sibundoy, El Campanero, Mujundinoy, cerro Estero, Patascoy, cerro Alcalde entre otros (Robertson 2007). Eventualmente, estos sistemas volcánicos han aportado grandes volúmenes a las cuencas altas de los ríos de la vertiente amazónica, en especial al río Guamués (Robayo y Castro 2001).

Geomorfología del piedemonte amazónico

La geomorfología regional de la zona de estudio puede dividirse tradicionalmente entre la región de precordillera con su morfología montañosa y el área, aproximadamente, plana del piedemonte propiamente dicho. Aunque la precordillera Andina presenta una historia

geológica compleja y variada, sus características morfológicas y evolución reciente influyen sobre muchos aspectos de la morfología del piedemonte.

Cordillera Andina

La cordillera Andina de la zona sur del país se caracteriza por presentar un modelado en función de la litología local, el control estructural local y la evolución del levantamiento regional. En general, se puede agrupar el modelado en cuchillas, crestas y cañones:

- Cuchillas (Su): corresponde a los filos alargados sin orientación preferencial, asociados a rocas macizas, en general de composición ígneo-metamórfica sobre las vertientes de las cordilleras (figura 4). Esta morfología es el resultado de la disección marcada por la red hídrica de los terrenos ígneo-metamórficos a través de un periodo largo de levantamiento. Aunque las fallas y los sistemas de diaclasamiento han orientado localmente la profundización del drenaje, muchos de los sistemas fluviales siguen, preferencialmente, la pendiente regional pre-levantamiento sin un control tectónico significativo. Este aspecto será analizado más adelante.

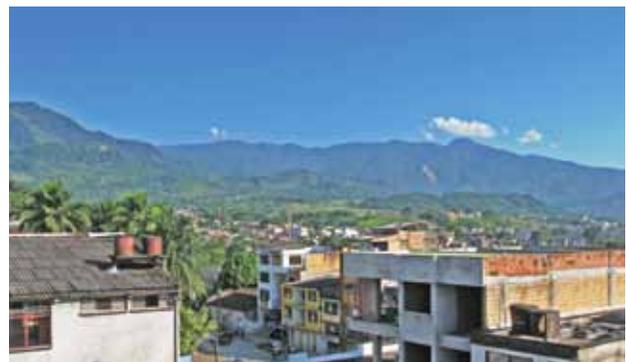


Figura 4. Cordillera Central desde Mocoa, Putumayo.

Fuente: Kim Robertson (archivo personal 2009).

Nota: al fondo se aprecian la vertiente disectada con el cañón del río Mocoa y las cuchillas desarrolladas en las rocas ígneo-metamórficas.

- Crestas (Sr): este modelado se caracteriza por presentar filos alargados, también llamados laderas estructurales o cuestas, de orientación NE-SW, de acuerdo con la estructura regional y asociados a rocas sedimentarias plegadas (figura 5). Típicamente, se aprecian crestas con laderas asimétricas correspondientes a laderas estructurales en el sentido del buzamiento de las rocas plegadas, comúnmente orientados hacia el este y con laderas opuestas de origen erosional y pendiente más fuerte.

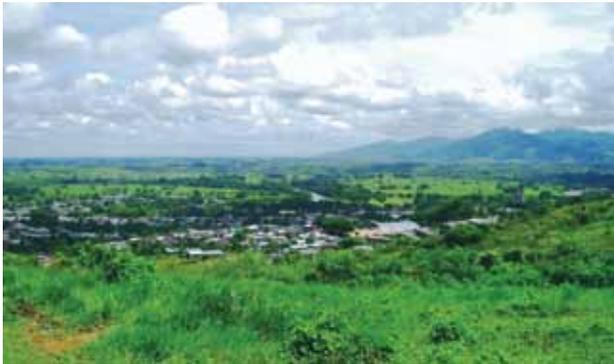


Figura 5. Florencia, Caquetá.

Fuente: Kim Robertson (archivo personal 2009).

Nota: se aprecia el piedemonte amazónico con sus crestas pronunciadas en Florencia, el río Hacha con una morfología meándrica sin abanico y un paisaje de colinas disectadas.

- Cañones (Sd): esta unidad se desarrolla particularmente en el frente de montaña entre el sur del Caquetá y la frontera con Ecuador, y está, prácticamente, ausente en la zona central y norte del Caquetá. Corresponde a una disección profunda en forma de V, resultado de una profundización del drenaje principal en bloques tectónicamente levantados.

Piedemonte amazónico

El piedemonte amazónico se caracteriza por presentar una notoria asimetría entre el desarrollo la zona putumayense —dominada por abanicos extensos y de gran actividad, asociada con el volcanismo de la cordillera Central Oriental— y la zona caqueteña, caracterizada por contar con sistemas fluviales sin abanicos o abanicos pequeños y disectados con una dinámica más moderada.

- Abanicos fluvio-volcánicos (Fv): esta unidad corresponde a abanicos mayores en el piedemonte putumayense, asociados con depósitos torrenciales, provenientes de los ríos Guamués, Putumayo y Mocoa-Caquetá; y aportes volcánicos de intensidad variable. En general, se aprecian tres niveles importantes y algunos subniveles por sectores. Los niveles más altos Fv3 y Fv2 se manifiestan como abanico-terrazas disectadas fuertemente por los ríos principales: el Caquetá, al norte y el Guamués, al sur (figura 6).
- Abanicos fluviales (Fa): esta unidad incluye los abanicos aluviales menores, asociados, esencialmente, a los ríos de la vertiente sur de la cordillera Oriental en el departamento del Caquetá. Incluye los ríos Fragua, Pescado, Paujil y Doncello. Se trata de abanicos

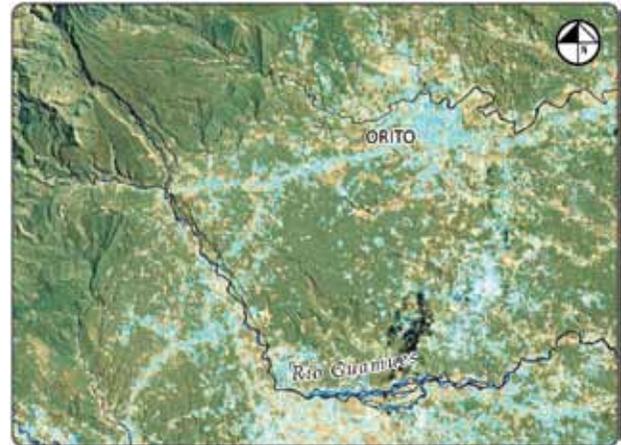


Figura 6. Imagen Landsat combinación 745, río Guamués, Putumayo. Fuente: Landsat.

Nota: se observa el río Guamués con régimen trezado sobre su abanico fluvio-volcánico, área altamente cultivada en la parte inferior.

ramificados, es decir, de forma irregular, interrumpidos por la disección sucesiva con remanentes de etapas anteriores en la forma de terrazas y colinas.

- Vegas de divagación (Fd): son terrenos ligeramente inclinados de entre 0% y 2% de pendiente a lo largo de los sistemas fluviales. Constan de sedimentos aluviales de composición variada según la litología de las cuencas específicas, pero dominan las rocas ígneas y metamórficas provenientes de las partes altas y medias de las cuencas. Sobre estos niveles aluviales y vegas se desarrollan suelos de gran influencia fluvial y niveles freáticos altos, en especial los *Tropofluvents* (IGAC 1993).

Planicie amazónica disectada

Esta zona incluye la llamada llanura amazónica, una región conformada por colinas bajas y medias relacionadas con la disección de los antiguos sedimentos del Terciario medio y superior.

- Colinas bajas (C1): esta unidad corresponde a colinas residuales de antiguas superficies aluvio-lacustre. Están compuestas por sedimentos arcillo-limosos dispuestos en forma horizontal a subhorizontal que regionalmente son conocidas como Fm. Pebas. Las colinas se caracterizan por presentar una disección promedio de 10 m y laderas cóncavo-convexas que no exceden el 20% de pendiente. Sobre estas superficies se desarrollan suelos de profundidad media con características del trópico húmedo. Los suelos dominantes corresponden a los *Hapludults*, es decir, suelos evolucionados de los trópicos.

- Colinas altas (C₂): constituyen una llanura de colinas más elevadas y una disección más profunda, de aproximadamente 20 m visible en las imágenes de radar. La red de drenaje de esta unidad de colinas conserva un patrón dendrítico. Aunque presenta una composición similar a los sedimentos arcillolimosos de la Fm. Pebas, reportado al sur de la zona de estudio, su mayor nivel de disección sugiere una evolución más antigua. Distintivamente, las colinas presentan formas convexas con pendientes que oscilan entre el 15% y 30%.

Morfodinámica regional

Disección regional

Aunque la cartografía de la zona presenta poca información en detalle, este trabajo confirma una gran asimetría en el relieve y una disección entre el sector sur y norte del área de estudio. Al norte, los valles tienden a ser más amplios y poco profundos (figura 7) como los ríos Caguán, Guayas, Orteguzza y Hacha donde se presentan un desnivel promedio de 500 m, entre los ríos y las crestas locales. De manera similar, la cordillera Oriental en el Caquetá es menos elevada con cimas que solo alcanzan en promedio los 3.000 m, con pocas excepciones como, por ejemplo, en el parque los Picachos.

En el sector sur, los cañones de los ríos Caquetá, Mocoa, Putumayo y Guamués alcanzan desniveles promedios de 1.000 m, en todos los casos, mientras las elevaciones mayores corresponden a volcanes como el de Patascoy y Doña Juana, los cuales superan los 3.300 y 4.000 msnm, respectivamente. Estas condiciones generan mayores pendientes en las cuencas, visibles a través de la pendiente fluvial.

En la mayoría de los casos, la orientación de los cauces y, por lo tanto, de los cañones no coinciden con fallas geológicas conocidas pero sí con la pendiente regional pre-levantamiento. El caso más espectacular corresponde al cañón del río Caquetá, un caso clásico de antecedencia, donde el río atraviesa el bloque pre-cordillera con una profundización de más de 1.000 m, en lugar de seguir la topografía baja y control estructural del valle inferior del río Mocoa más al oeste (figura 8).

En la zona montañosa del piedemonte putumayense, el patrón de drenaje dominante corresponde al dendrítico y lineal, asociado con la litología ígnea-metamórfica del macizo de Garzón y el sistema de fallas de Algeciras-Garzón. En cambio, en el piedemonte caque-

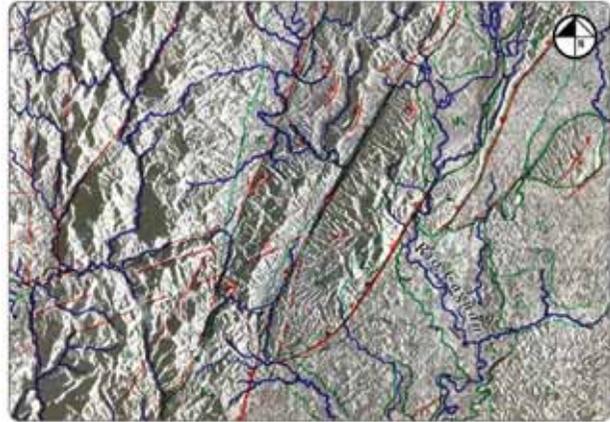


Figura 7. Imagen de radar del sector del río Caguán y San Vicente del Caguán.

Fuente: interpretación sobre imagen de radar.

Nota: contacto entre el bloque levantado y tectonizado del piedemonte caqueteño y la planicie amazónica disectada.



Figura 8. Imagen Landsat combinación 743, sector Mocoa.

Fuente: Landsat.

Nota: se aprecia la confluencia del río Mocoa de régimen trenzado con el río Caquetá. Adicionalmente se observa la disección del último bloque de la cordillera, el Churumbelo por un paso antecedente bien marcado.

tense predominan patrones dendríticos con drenaje enrejado relacionado con las coberturas sedimentarias localizadas hacia el flanco externo de la cordillera, en especial en la zona de San Vicente y Florencia.

Al sur, sobre la vertiente de Putumayo, predominan las laderas más largas y las pendientes más fuertes, relacionadas con una topografía abrupta de cañones profundos. A su vez, las alturas máximas, comúnmente, exceden los 3.300 m, y localmente los 4.000 m, como sucede en los picos volcánicos de Mujundinoy (3.400 m) y Doña Juana (4.250 m).

Dinámica fluvial

La dinámica fluvial del piedemonte amazónico acentúa la diferencia establecida entre los dos escenarios, mientras en el piedemonte del sector del Caquetá se presentan ríos meándricos, en el sector de Putumayo se evidencian patrones fluviales de ríos trenzados. La mayoría de los ríos del piedemonte caqueteño emergen de la cordillera con una marcada tendencia meándrica como ocurre con los ríos Guayas, Caguán y Hacha (figura 9), afluente del Orteguzza. Estos ríos recorren valles aluviales, más o menos, amplios, y claramente visibles en las aerofotografías e imágenes de radar. Sobre estas imágenes no se aprecia el desarrollo de abanicos significativos, salvo las pequeñas excepciones en los ríos de Doncello y La Fragua.

Por el contrario, en los ríos Caquetá, Mocoa, Putumayo y Guamués el régimen trenzado se encuentra próximo al piedemonte del departamento del Putumayo y coincide con el desarrollo de abanicos de tamaño variable, y con numerosos indicios de una divagación activa. En los casos de los ríos Mocoa, Caquetá y Guamués, se presentan abanicos entallados en la parte alta del piedemonte. Esta condición cambia hacia la Amazonía adentro, donde los ríos se explayan y divagan sobre el segmento de los conos activos.

El tamaño de los abanicos caquetenses es menor que los del piedemonte putumayense, tanto en el sentido radial como en el ancho. El radio del abanico de la Fragua, tal vez uno de los más activos, alcanza solo 15 km, mientras muchos sistemas fluviales no desarrollan un sistema aluvial distributivo.



Figura 9. Imagen Landsat combinación 745, sector Florencia, Caquetá. Fuente: Landsat.

Nota: se observa los ríos Hacha (Florencia), Orteguzza y otros afluentes menores, todos de tendencia meándrica sin la presencia de abanicos de piedemonte.

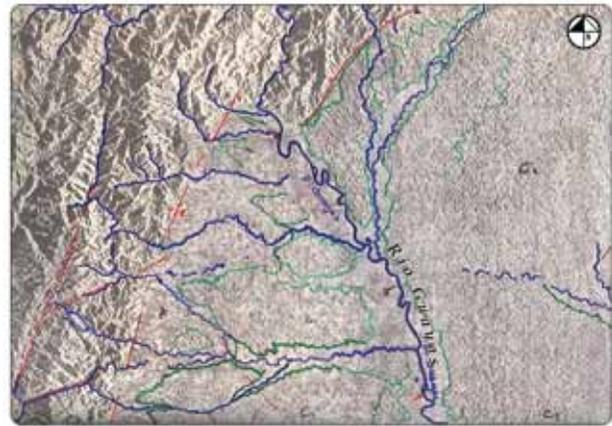


Figura 10. Imagen de radar, sector Puerto Rico, Caquetá.

Fuente: interpretación sobre imagen de radar.

Nota: se aprecia el río Guayas, Caquetá, con otros afluentes menores, la mayoría de tendencia meándrica. Solo sobre los afluentes menores se observa la formación de abanicos pequeños de piedemonte.

Las pendientes de estos ríos tienden a ser más suaves, en promedio oscilan entre los 2° y 3° con los ápices disectados o conservan varios niveles de profundización y sedimentación. Sobre las superficies más conservadas y antiguas se desarrollan suelos de profundidad media, correspondientes a los *Oxic Dystropept* y *Paleoudults*, algo evolucionados. Llama la atención que los ríos Hacha, Orteguzza, Guayas y Caguán (figuras 7, 9 y 10) no desarrollan estructuras en forma de abanicos antiguos, ni recientes. En estos casos, los ríos presentan un régimen meándrico a lo largo de vegas anchas y terrazas bajas a partir de su llegada a la llanura colinada amazónica.

Dinámica fluvio-volcánica

Cabe destacar la gran extensión que poseen algunos de los abanicos fluviales del piedemonte del Putumayo, característica que no se debe, exclusivamente, al carácter torrencial de las cuencas sino a los aportes volcánicos episódicos. Esta situación se presenta con una intensidad variable, sin embargo, es de gran importancia en la cuenca del Guamués debido a los numerosos focos volcánicos como Campanero, Mujundinoy y cerro Patascoy entre otros.

El abanico alto del Guamués se destaca por su menor grado de disección, está compuesto por bloques y cantos de composición ígneo-metamórfica en una matriz de lodo y piroclastos provenientes de su cuenca alta, es decir, la zona volcánica de la laguna de La Cocha y el valle del Estero-Patascoy. En general, los depósitos presentan una estructura masiva en matriz con

intercalaciones y lentes fluviales, indicativa de aportes torrenciales provenientes de las partes altas de la cordillera. En la parte media distal, el abanico está deformado por una falla activa —la falla de Orito— que levanta el abanico más de 50 m, sobre el piedemonte en general. Este hecho propició la disección profunda a través del río principal. El mega-abanico del sistema Mocoa-Caquetá también presenta una historia compleja de sedimentación y disección, tal vez relacionada con aportes mixtos de origen torrencial y fluvio-volcánico. La cuenca alta incluye zonas glaciadas y dos estratovolcanes semiactivos o latentes importantes, Doña Juana y Las Ánimas (Robertson et ál. 2002).

En cambio, en las cuencas de los ríos Putumayo y Caquetá la presencia volcánica constituye solo un factor secundario debido por el reducido número de volcanes y a la existencia de un valle tectónico profundo en su cuenca superior: el valle de Sibundoy. Este valle presenta una forma trapezoidal que se asocia con la continuación del sistema de las fallas de rumbo o transcurrentes de Algeciras-Garzón del sur del Huila con la falla de Afiladores de Putumayo y ha sido interpretado como una cuenca de tracción. Finalmente, el río Mocoa, altamente trenzado en su recorrido hasta su confluencia con el río Caquetá, no tiene volcanes conocidos en su cuenca. Por lo tanto, las condiciones de pendiente y de aportes de sedimentos, a veces de carácter fluvio-volcánico, juegan un papel preponderante en el desarrollo de los ríos y del piedemonte del Putumayo.

Planicie amazónica disectada

Esta zona incluye la mal llamada llanura amazónica, una región de colinas bajas relacionadas con la disección de antiguos sedimentos del Terciario medio y superior. Aunque algunos estudios sugieren la presencia de terrazas aluviales de gran extensión sobre esta superficie de colinas disectadas (IGAC 1993), estas geoformas no se identificaron en esta investigación. En general, la ausencia de terrazas extensas sobre los divisores de aguas de esta llanura de colinas indica la falta de aportes aluviales recientes significativos desde la cordillera y la antigüedad de su disección.

Amenazas de inundación

Como ya se mencionó, las deficiencias en la calidad de la información de la zona de estudio, especialmente, en lo relacionado con la calidad de la cartografía y la información hidrológica generan cierto grado de incertidumbre y limitaciones. Para el análisis de la diná-

mica fluvial, en especial lo relativo a los cálculos de las pendientes de los ríos o la estimación de los caudales extremos para ciertas cuencas, estas limitaciones solo permiten señalar algunas tendencias y obtener conclusiones generales, basadas en los registros de prensa y en las características morfodinámicas de las cuencas y cauces de los ríos a nivel local (figuras 11, 12 y 13).

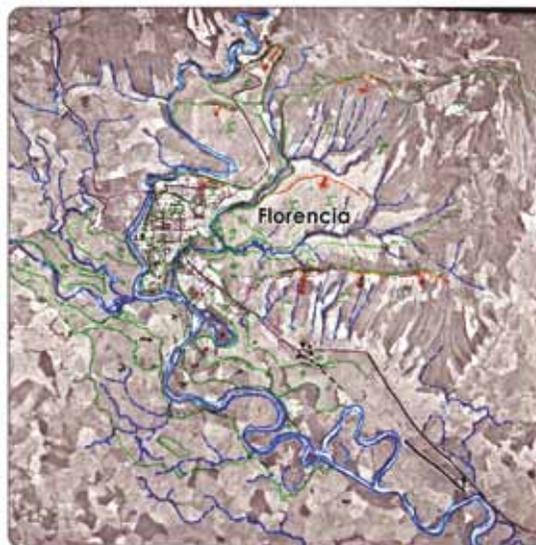


Figura 11. Fotografía aérea, sector Florencia, Caquetá.

Fuente: interpretación sobre aerofotografía del IGAC.

Nota: se aprecia el río Hacha con un patrón meándrico bien marcado con sus vegas y terrazas aluviales. A través de la fotointerpretación se pudo confirmar la ausencia de conos aluviales en esta zona y el recorte artificial de los meandros.

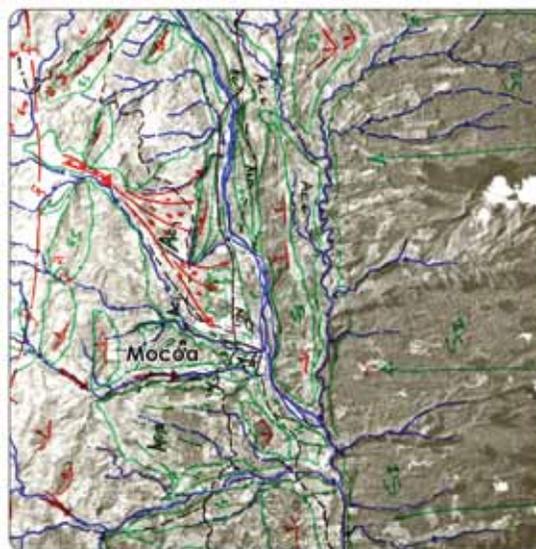


Figura 12. Fotografía aérea, sector Mocoa, Putumayo.

Fuente: interpretación sobre aerofotografía del IGAC.

Nota: la fotointerpretación del sector de Mocoa confirmó la presencia de conos torrenciales en este sector, provenientes, principalmente, de los afluentes torrenciales y del régimen trenzado del río Mocoa.

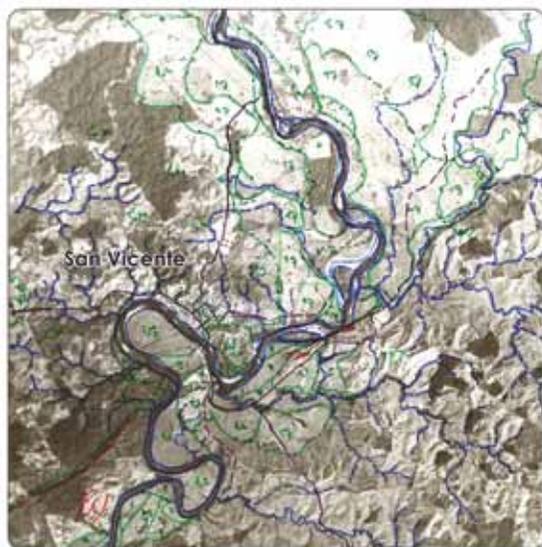


Figura 13. Fotografía aérea, sector San Vicente, Caquetá. Fuente: interpretación sobre aerofotografía del IGAC. Nota: se aprecia el sector de San Vicente con el río Caguán que constituye un sistema fluvial de tipo meándrico sobre el piedemonte caqueteño rodeado por terrazas bajas y colinas. Llama la atención la ausencia total de abanicos aluviales en este sector.

Torrencialidad

La torrencialidad de una cuenca o sistema fluvial, aunque pocas veces definida, generalmente ha sido asociada con los extremos de caudal. Para esta investigación, la torrencialidad se define como el coeficiente que existe entre los caudales medios y los caudales máximos instantáneos históricos de las cuencas. Los extremos de caudal se relacionan con un conjunto de factores ambientales, condiciones climáticas y meteorológicas, geológicas y morfológicas que incluyen el tamaño mismo de las cuencas (Bloom 1999).

En el caso de Florencia, según Hortua (2004) se han presentado varios eventos torrenciales en las cuencas que bordean la ciudad, destacándose las avalanchas del 17 de agosto de 1962 sobre río Hacha, con un saldo de 122 muertos y 3.000 damnificados y las inundaciones del 4 de octubre de 1999 sobre el río Hacha y quebrada la Perdiz (figura 11) que provocó la muerte de 14 personas y un saldo de 14.000 damnificados. Cabe resaltar que sobre estas inundaciones no se cuenta con datos precisos sobre el caudal generado durante las crecientes debido a la ausencia de equipos de medición, en el primer caso; y por el daño de los equipos, para el segundo caso, hecho común que ocurre durante las avalanchas torrenciales.

Al mismo tiempo, los ríos mayores de la vertiente del piedemonte del Putumayo presentan unas tasas altas de torrencialidad por su mayor pendiente frente a las

cuenkas del piedemonte caqueteño. Según Ingeominas (1994), se presentaron varios eventos torrenciales en las cuencas aledañas a la ciudad de Mocoa, destacándose: las crecientes súbitas en 1957 sobre las quebradas Taruca y Sangoyaco que dejó 3 muertos, pérdidas en casas y el desborde del río Mocoa en 1988 que provocó inundaciones en los barrios Independencia y San Agustín.

Régimen fluvial

La morfología del cauce de los ríos trenzados, meándricos o transicionales refleja procesos asociados con el transporte de agua, sedimentos y relieve a través del sistema fluvial. En este trabajo se entiende el régimen fluvial como la forma que toma el cauce de un río determinado para adaptarse a las condiciones de pendiente, caudal y carga de sedimentos: tres variables independientes asociadas con la dinámica fluvial de ríos aluviales (Chorley et ál. 1984). Este concepto se apoya en el análisis de la sinuosidad de los cauces fácilmente medibles sobre los mapas, aerofotografías y las imágenes de satélite o radar.

De acuerdo con este análisis, se puede observar un claro dominio de los ríos trenzados en el piedemonte putumayense en contraste con los ríos meándricos sobre el piedemonte caqueteño. Todos los sistemas fluviales del Putumayo —incluidos los ríos Guamués, Mocoa y Caquetá— presentan un patrón trenzado fuerte al llegar al piedemonte. Este régimen se relaciona con el transporte torrencial de grandes caudales y la carga de sedimentos, eventos que provocan gran inestabilidad en los cauces y una alta probabilidad de que se presenten crecientes súbitas.

En cambio, la mayoría de los ríos del Caquetá, incluyendo Caguán, Guayas y Orteguzza presentan patrones meándricos, en ocasiones con cortos tramos trenzados. Estas características se asocian con crecientes menos torrenciales y la migración lateral de los cauces, situaciones reportadas en el piedemonte caqueteño.

Conclusiones

A pesar de contar con información secundaria deficiente, el análisis de las geofomas sobre las imágenes de radar, *Landsat* y aerofotografías permitieron identificar las principales amenazas de origen natural en el piedemonte amazónico. Este análisis morfoestructural y dinámico, junto con la información secundaria general de tipo climático, hidrológico y geológico, permitió caracterizar las amenazas naturales potenciales y su distribución general en el piedemonte amazónico.

Con base en la fotointerpretación geomorfológica de las imágenes de satélite *Landsat*, radar y la interpretación detallada de los sectores de Mocoa y Florencia, se establecieron dos subregiones con características bien diferentes: el piedemonte caqueteño de origen aluvial y el piedemonte putumayense de origen fluvio-volcánico y torrencial. El primer ambiente presenta abanicos fluviales menores, de actividad reducida y, po-

tencialmente, de menor amenaza para las poblaciones en este sector. Mientras el piedemonte del Putumayo se destaca por sus tres mega-abanicos coalescentes con radios de hasta 35 km: el Caquetá, el Putumayo y el Guamués. Este piedemonte, de carácter fluvio-volcánico y torrencial representa para la región, su población y las actividades socioeconómicas que se desarrollan allí una mayor amenaza.

Kim Robertson

Ingeniero geográfico de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Máster en Ciencias de la Tierra por la Universidad de California-Davis y especialista en Sensores Remotos y Geomorfología, CIAF-IGAC. Actualmente es profesor asistente del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia.

Miguel A. Castiblanco

Geógrafo de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente es estudiante de Maestría en Geografía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá y contratista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Referencias

- Bloom, Arthur L. 1999. *Geomorphology, a systematic analysis of Late Cenozoic landforms*. New Jersey: Prentice-Hall, 510.
- Chorley, Richard; Stanley Schumm y David Sugden. 1984. *Geomorphology*. Londres: Methuen.
- Cooke, Ronald U. y John Charles Doornkamp. 1990. *Geomorphology in Environmental Management a new introduction*. Oxford: Clarendon.
- Flórez, Antonio. 1995. Tecto-orogénesis, disección e inestabilidad de vertientes en los Andes colombianos. *Revista Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 19 (74): 527-534. Bogotá.
- Hortua Cortés, Nadezdhy Ginova. 2004. Geomorfología e hidrología, combinación estratégica para el estudio de las inundaciones en Florencia (Caquetá). *Cuadernos de Geografía* 13: 81-101. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía.
- IDEAM. 2005. *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá.
- IGAC. 1990. *Caquetá: Características Geográficas*. Bogotá.
- IGAC. 1993. *Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del Caquetá. Tropenbos*. Tomo I. Bogotá: IGAC.
- IGAC. 1999. Paisajes fisiográficos de Orinoquia-Amazonia (ORAM). *Revista Análisis Geográficos* 27-28: 361. Colombia, Bogotá.
- Ingeominas. 1994. *Estudio geomorfológico e hidrológico regional de la cuenca del río Mocoa y evaluación detallada de un sitio crítico*. Bogotá.
- Ingeominas. 2007. *Mapa geológico de Colombia digital. Escala 1:2.800.000*. Bogotá.
- Pabón, José Daniel. 2003. *El tiempo y el clima en el territorio colombiano*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía.
- Pabón, José Daniel y Ruth Leonor Correa Amaya. 2005. Los sistemas meteorológicos de escala sinóptica de la Amazonía, sus efectos e impacto socioeconómico en el sur del territorio colombiano. En *Cuadernos de Geografía* 14: 65-81. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía.
- Ramírez, Jesús Emilio. 1975. *Historia de los terremotos en Colombia*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Robayo, Blanca Inés y Wilson Castro. 2001. *Evaluación de riesgos naturales en la cuenca del río Guamués, Nariño*. Pregrado en Geografía, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Robertson, Kim. 1992. Amenazas naturales asociados a los sistemas fluviales y abanicos del piedemonte llanero. En *Colombia. Memorias I Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y SIG aplicados a Riesgos Naturales*. Bogotá, 114-127.
- Robertson, Kim; Antonio Flórez y Jorge Luis Ceballos L. 2002. Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. *Cuadernos de Geografía* 11(1-2): 37-76. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía.
- Robertson, Kim. 2007. Morfotectónica y dataciones del fallamiento activo del piedemonte llanero, Colombia. *Cuadernos de Geografía* 16: 109-120. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía.
- Smith, Keith. 1996. *Environmental Hazards: assessing risk and reducing disaster*. Londres: Routledge.
- Wilches, Gustavo. 2000. Conferencia sobre derechos humanos y desastres. *Primer Encuentro del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Emergencias*. Bogotá.