

ANÁLISIS METODOLÓGICO DE CUENCAS URBANAS

Lina Zuluaga Duque¹ y Lilian Posada García²

*Escuela de Geociencias y Medio Ambiente
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*

RESUMEN

Los procesos geomórficos naturales son alterados por las actividades humanas y los efectos del cambio son mas notorios en cuencas pequeñas. El acelerado desarrollo urbano Envigado (municipio de Antioquia al noroccidente de Colombia), durante las últimas dos décadas ha ocasionado cambios en la red de drenaje natural de las microcuencas periurbanas de las quebradas La Ahuyamera y Las Brujas, los cuales han inducido alteraciones en los procesos morfodinámicos como son incrementos en la erosión laminar, socavación de orillas y del lecho, movimientos en masa debidos al descenso del nivel base de la quebrada Las Brujas y, el mas notorio, la tubificación en los llenos artificiales y otros depósitos aluviales y coluviales existentes. La alteración de la red de drenaje de la quebrada Las Brujas fue ocasionada principalmente por la construcción de vías y actividades de urbanización conducidas sin ninguna planeación y sin especificaciones técnicas adecuadas. Se propone una metodología para el análisis de los procesos naturales y antrópicos en cuencas altamente antropizadas que permita la posibilidad de prevenir los efectos de los procesos urbanísticos o de otras intervenciones humanas mal planificados.

ABSTRACT

The natural geomorphic processes are altered by human activities and the effects of its changes rates are more noticeable in small watersheds. The accelerated urban development of Envigado (a district of Antioquia state at the north western Colombia) during the last two decades has caused changes in the natural drainage network of the suburban watersheds of Las Brujas and La Ahuyamera Creeks, which have consequently induced alterations in the morphodynamic processes as increment of laminar erosion, bank and bed scour, mass movements due to lowering of base level for Las Brujas Creek, and the most noticeable change, piping through the artificial fills and other alluvial or colluvial existing deposits. The alteration of the natural drainage network of Las Brujas was caused mainly by road construction and urbanization activities conducted without planning and non technical designs. A methodology for studying the natural and man-induced processes in intervened watersheds that open the possibility to prevent the effects the non-planned urbanization processes or another human intervention is presented.

¹ Ingeniera Civil, Departamento de Ingeniería Civil, linazdu@yahoo.com

² Profesora Asociada, AA. 1027 Medellín Colombia, lposada@perseus.unalmed.edu.co

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población implica serios impactos sobre el entorno de pequeñas cuencas urbanas como las de las quebradas Las Brujas y La Ahuyamera, ubicadas en la zona Andina al noroccidente de Colombia, (Figura 1). Principalmente la hidrología se ha alterado de muchas formas: reemplazando áreas de bosques o vegetación por potreros mal manejados y edificaciones, modificando la topografía para adaptarla al proceso de urbanización, aumentando los caudales con las aguas de acueducto tomadas de otras cuencas. Todo esto ha llevado a cambiar la dinámica natural de los cauces y, en el caso de la quebrada Las Brujas, a alterar radicalmente su curso, por lo que es muy común encontrar zonas inestables o en conflicto, en un intento de las quebradas por ajustarse a las condiciones impuestas

Las cuencas de las quebradas La Ahuyamera y Las Brujas, son cuencas pequeñas (1.19 y 0.56 Km²), de forma alargada que drenan a la quebrada La Ayurá, en el municipio de Envigado (Antioquia). Por medio del análisis de cartografía, fotografías aéreas, información secundaria [3] y trabajo de campo se pudo establecer que la causa fundamental de los problemas de inestabilidad detectados en las cuencas de las quebradas mencionadas es la alteración de la red de drenaje, a consecuencia de las obras de urbanización (cortes y excavaciones para las vías, llenos mal conformados para el emplazamiento de viviendas, etc.). Las alteraciones más severas se detectaron en la cuenca de la quebrada Las Brujas (agrietamiento de viviendas, movimientos en masa, tubificación, etc.).

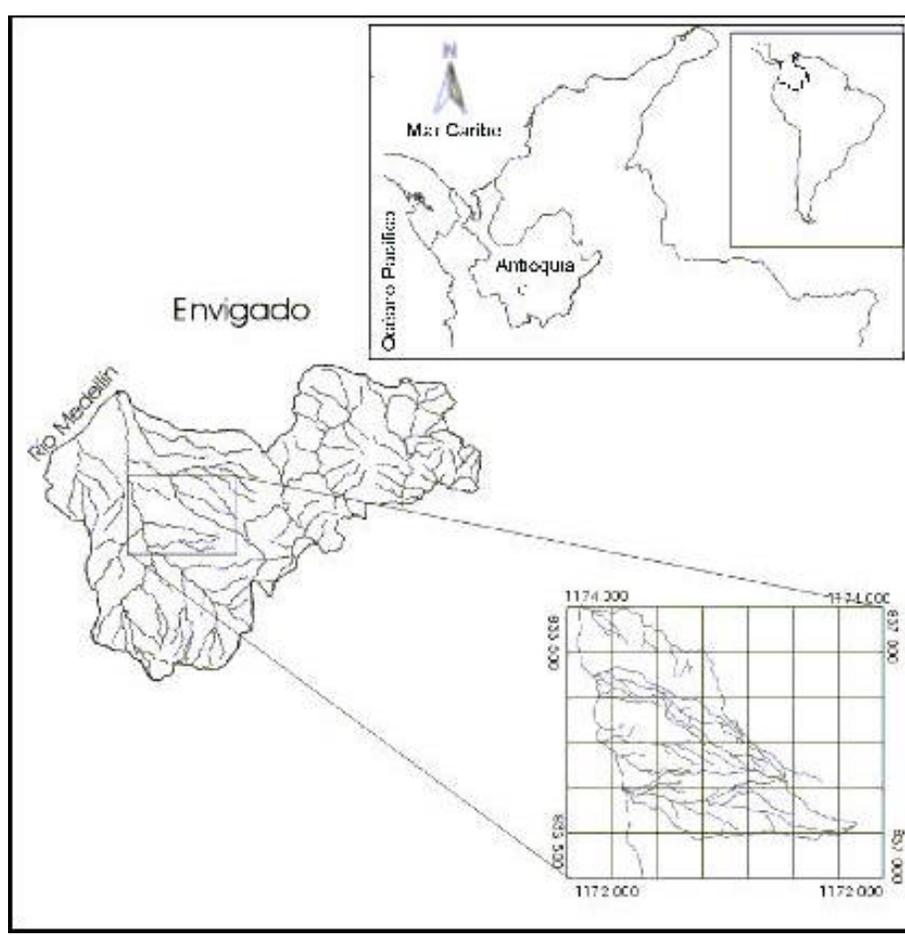


Figura 1. Localización de la zona de estudio

En este estudio se analizan los efectos de la expansión urbana sobre la hidrología y los procesos geomórficos naturales de las cuencas de las quebradas La Ahuyamera y las Brujas y se propone una metodología para el análisis de las alteraciones originadas por las intervenciones antrópicas, con el fin de prevenir los efectos causados por una planificación deficiente o incontrolada de las actividades de urbanización.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La quebrada Las Brujas tiene un cauce de orden (Horton) tres cuando entrega sus aguas – en forma abrupta - a la quebrada La Ayurá, después de un recorrido de 2 km, una pendiente promedia de 18%. La cuenca tiene una altitud media de 1800 msnm, se encuentra sobre suelo residual de roca metamórfica virtualmente impermeable, que aflora solo en el 8% del área, pues el resto subyace un gran depósito de flujo de lodo de buena permeabilidad y bastante espesor que cubre el 85% del área y llenos artificiales que ocupan aproximadamente un 7% del área total de la cuenca. Sobre el saprolito las pendientes son muy fuertes y pronunciadas mientras que sobre el depósito y los llenos son más suaves. Las pendientes en la parte media y baja de la cuenca se encuentran bastante intervenidas con taludes artificiales.

La quebrada La Ahuyamera tiene un cauce de orden cuatro y hace una entrega normal a la quebrada la Ayurá, a escasos 150 m antes de la desembocadura de las Brujas; el cauce principal tiene una longitud de 2.8 km, una pendiente promedia de 26.6%. La cuenca tiene una altura media de 2060 msnm; desde la parte alta aflora el saprolito en el 64% del área, mientras que en el resto del área esta roca está cubierta por flujos de lodo, llenos, coluviones y organales en el cauce (Figura 2). Casi la totalidad de su parte media es una zona de amenaza alta por movimiento en masa [4]. El saprolito tiene baja permeabilidad y por estar localizado donde las pendientes son mayores predominan en él los procesos de erosión laminar y en algunas partes procesos de remoción en masa.



(a)

(b)

Figura 2. Organales en la quebrada La Ahuyamera (a) y desembocadura de la quebrada Las Brujas, aproximadamente 2 m por encima del nivel de la quebrada La Ayurá (b).

La inestabilidad de taludes y los movimientos en masa (asociados generalmente con la tubificación) son los fenómenos más notorios en la quebrada Las Brujas, el canal natural en su parte final está desviado y canalizado para entregar en forma abrupta –una caída de dos metros aproximadamente- a La Ayurá (Figura 2). En la Ahuyamera los fenómenos observados comprenden: erosión laminar, erosión lineal, reptación, socavación de orillas. Aunque ambas cuencas están intervenidas, los efectos de unas políticas de urbanización poco claras o una planificación municipal deficiente han sido más adversos en la cuenca de la quebrada Las Brujas.

2. METODOLOGÍA

El municipio carece de capacidad tanto para planificar adecuadamente el uso del territorio como para ejecutar los planes de ordenamiento existentes. Se encuentran tanto invasiones como asentamientos "planificados" y autorizados en zonas de riesgo por deslizamiento e inundaciones. Todos los grupos de usuarios sufren las consecuencias de la inadecuada ocupación de las planicies de inundación.

Para analizar los efectos de las intervenciones antrópicas sobre la red de drenaje y sobre la estabilidad de la cuenca en general, se propone la siguiente metodología, la cual fue aplicada en las cuencas de las quebradas Las Brujas y La Ahuyamera del municipio de Envigado.

Antes de aplicar cualquier metodología, se debe hacer una visita de reconocimiento con el fin de conocer las características de la cuenca (o zona de estudio), localizar los problemas más graves y que tienen manifestación evidente sobre el terreno (grietas en las edificaciones y obras de infraestructura como puentes y vías, hundimientos del terreno, ruptura de viaductos, etc.), ya que algunos problemas ocasionados por las acciones antrópicas pueden no tener aun evidencia real sobre el terreno, como es el caso de la tubificación. Se trata de adquirir una primera idea de la magnitud de los problemas que requieren solución.

Es fundamental, examinar con detalle la red de drenaje (si es natural o artificial), identificando secuencialmente cada uno de sus tramos y el grado de intervención en ellos: retiros a los cauces, invasiones, estado de los taludes (banqueos, explanaciones, cortes, tipos de urbanización, drenajes de tierras adecuados, impermeabilizaciones del suelo (pavimentos, parqueaderos), modificación de la capacidad del cauce, cambios en el alineamiento y gradiente. Si el tramo es artificial, es necesario identificar materiales, pendientes, calidad de revestimientos (si existen), capacidad del canal, estabilidad de los taludes, estado de bancas y lecho, edificaciones en la planicie y sus retiros, y otros procesos asociados como tubificación y erosión.

2.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BÁSICA Y SECUNDARIA

Información Básica

- Cartografía a escala apropiada según el tamaño de la cuenca.
- Fotografías aéreas de diferentes épocas
- Mapas de uso del suelo.
- Registros de precipitación, evaporación y caudal disponibles en la cuenca y fuera de ella, dependiendo del tamaño de la zona de estudio.

Se debe adquirir la información cartográfica necesaria para localizar geográficamente la zona de estudio, ubicar en ella las estaciones hidrométricas disponibles y realizar el análisis morfométrico de las cuencas de drenaje con el cual se puedan hacer estimaciones hidrológicas; identificar procesos naturales y antrópicos y sus paisajes asociados y finalmente, elaborar los mapas temáticos para hacer estimaciones de erosión.

Para definir la red de drenaje de las quebradas Las Brujas y La Ahuyamera y sus alteraciones a través del tiempo, elaborar la zonificación de usos del suelo y el mapa de pendientes, se utilizó cartografía en escalas 1:25000 (1979), 1:10000 (1970, 1985, 1987, 1993 y 1999), 1:5000 (1993 y 1999) y 1:2000 (1973). Igualmente, se utilizaron las fotografías aéreas de los años 1993 y 1999.

Información Secundaria

El objetivo de esta etapa es evaluar el conocimiento que se tiene acerca de los problemas detectados, sus causas, las medidas que se han aplicado para resolverlos y la efectividad de dichas medidas. Se pretende recopilar y analizar la información existente sobre la zona de estudio, la cual debe incluir, en primer lugar, los estudios geológicos disponibles a escala regional y local.

Dada la reciente reglamentación del estado Colombiano, todos los municipios deben tener su correspondiente Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Se debe analizar y actualizar la información contenida en los POT's, la cual debe incluir como mínimo una recopilación de los problemas detectados hasta la fecha de elaboración del plan de ordenamiento y probablemente, recomendaciones para remediarlos. En esta fase se utilizó el POT, 2000 del municipio de Envigado, [2].

Igualmente, se deben analizar, actualizar y verificar la efectividad de los estudios existentes en las oficinas de la administración municipal, para luego conocer su efectividad. Por ejemplo, si un estudio propone la ejecución de una determinada obra de infraestructura, se debe verificar si la obra ya fue construida, si los materiales empleados fueron los especificados en el diseño, etc. y finalmente, se debe chequear su funcionalidad. Puede darse el caso de que una solución implementada no este funcionando porque el problema para el cual fue diseñada no fue correctamente identificado o no fue apropiadamente cuantificado.

Se debe identificar el uso potencial del suelo a partir de la información existente, con el fin de determinar el grado de afectación o sustitución actual. El uso actual del suelo se puede obtener a partir de la información existente complementada con trabajo de campo.

Trabajo de Campo

El trabajo de campo tiene como objetivo constatar las apreciaciones señaladas en los estudios existentes, realizar aforos de caudal líquido y sólido en diferentes puntos sobre la corriente principal y afluentes, según sea necesario (dependiendo de los problemas identificados). La naturaleza geológica del terreno y el estado de los suelos superficiales, son los factores que definen el tipo de materiales que arrastran las corrientes. Se debe además identificar puntos de control geológico e hidráulico para el flujo; recolectar información de carácter cualitativo de las unidades litológicas y geomorfológicas presentes en la zona para describir el paisaje actual, verificar y ajustar la información resultante de la interpretación de las fotografías aéreas, e identificar evidencias de los

procesos activos (zonas de erosión concentrada, movimientos en masa, etc.) que permitan validar los resultados de la fotointerpretación.

Se debe hacer un inventario de las alteraciones del paisaje asociadas con las actividades humanas, con respecto a la topografía (urbanizaciones, vías, deforestación o cambios en la cobertura vegetal, etc.), usos del suelo y especialmente, con respecto a la red de drenaje (sustitución del canal natural por box culverts, canales revestidos, tuberías, viaductos, filtros, etc.; rectificaciones, trasvases hacia otra subcuenca, etc.).

En el caso de la quebrada Las Brujas (0.56 km²), los planos existentes en la administración municipal presentaban una cuenca reducida en un 41 % del área, a causa de acciones antrópicas como la apertura de vías, llenos en los canales y explanaciones que cambiaron el patrón de la red de drenaje y perturbaron la definición de la divisoria de la cuenca, por lo que se requirió bastante trabajo de campo para reubicar la línea divisoria y la red de drenaje reales, las cuales se muestran en la Figura 3.

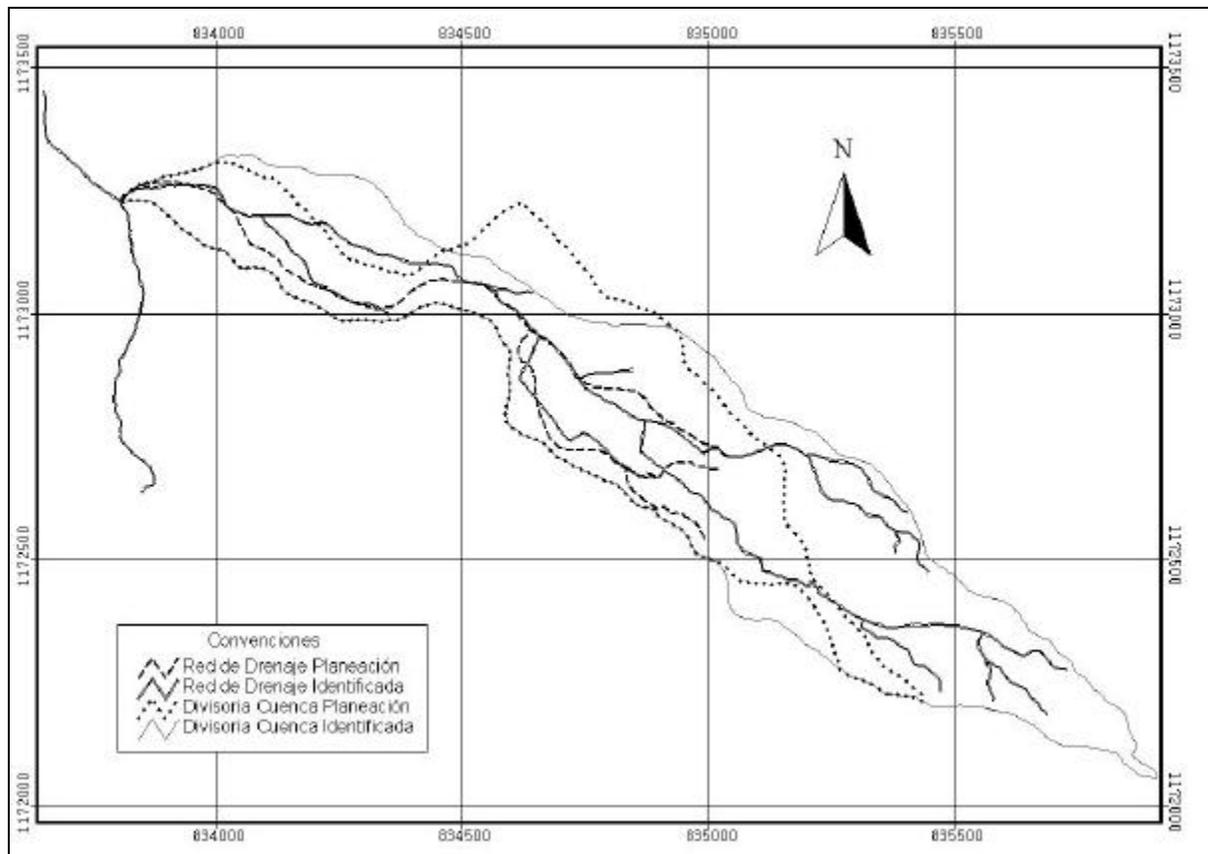


Figura 3. Modificaciones a la divisoria y a la red de drenaje de la cuenca de la quebrada Las Brujas

2.2. ANÁLISIS GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA

El análisis del componente geológico comprende el estudio de los aspectos geomorfológicos y de las estructuras litológicas de la cuenca en estudio, con el fin de efectuar una caracterización y evaluar la susceptibilidad a la erosión, identificando las

expresiones morfológicas asociadas a procesos erosivos y eventos de remoción en masa y los rasgos estructurales asociados a fallas y fracturas principales con el fin de delimitar las zonas inestables.

Se debe establecer el marco geológico regional para la cuenca; en el caso colombiano, el Instituto de Investigación Minera, Ingeominas, ha elaborado información para todo el país. Mediante fotointerpretación se identifican localmente los rasgos geológicos y geomorfológicos de la zona, los cuales se complementan con trabajo de campo para obtener un mapa fotogeológico confiable para el área de interés. Por medio del análisis de fotografías aéreas de diferentes épocas, se analizan los cambios ocurridos en el patrón de alineamiento de los cauces, se identifican las geoformas que permitan definir los límites de la planicie inundable; se identifican controles estructurales y antrópicos al paso del flujo y cambios en el uso del suelo. El trabajo sobre la cartografía que permite precisar las unidades geomorfológicas consiste en determinar el mapa de pendientes, longitud y dirección de las pendientes y sus paisajes asociados (filos, cuchillas, escarpes, laderas, valles, colinas) que permitan cuantificar factores para estimar la amenaza por movimientos en masa y erosión laminar.

Según el paisaje actual, levantado a partir de los mapas, visitas de campo y fotointerpretación, se determinan los principales procesos geomórficos asociados y se trata de evaluar la influencia antrópica en cada uno de ellos.

Las manifestaciones de procesos de erosión en el terreno consisten en la presencia de canales difusos, canales bien definidos, surcos, cárcavas, erosión laminar, entre otras. Los procesos de remoción en masa incluyen los rasgos asociados con movimientos de materiales puntuales, locales o regionales ocasionados por la generación de escarpes, coronas de deslizamientos antiguos, deslizamientos recientes, así como también a todas aquellas formas que por su origen implican procesos de depositación y/o acumulación de materiales y los procesos potenciales asociables con zonas de debilidad producto del fallamiento y de la posición estructural de la roca a favor o en contra de la pendiente topográfica del terreno.

Debido a las imprecisiones antes mencionadas en la cartografía, y a las alteraciones de la topografía ocasionadas por la apertura de vías y explanaciones para urbanizaciones, la red de drenaje de la cuenca de la quebrada las Brujas se encuentra bastante desubicada (Figura 4) en muchos tramos de la parte alta, los canales de flujo se convirtieron en conductos subsuperficiales.

2.3. ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Tiene por objeto estimar los aportes netos de agua en sitios determinados de la cuenca, especialmente en las zonas más intervenidas o afectadas por procesos erosivos. Existen diversas metodologías para llevar a cabo esta actividad, las cuales dependen de la información hidrométrica disponible y, de alguna manera, del tamaño de la cuenca. Cuando se tiene una serie de caudales suficientemente larga (mayor de 30 años), el análisis de frecuencia es suficiente para definir el régimen de caudales. Normalmente, en cuencas pequeñas cuando existe información de caudales, la serie es de muy corta longitud por lo que se recurre a la aplicación del método racional, métodos lluvia-escorrentía para determinar caudales a partir del análisis de frecuencia de lluvias, o se utilizan métodos de regionalización para estimar los caudales en la cuenca de estudio a partir de registros en zonas con buena información hidrométrica.

Para las quebradas Las Brujas y La Ahuyamera los caudales estimados para diferentes periodos de retorno se obtuvieron aplicando métodos lluvia-escorrentía (hidrógrafas unitarias de Williams y Hann, Snyder y SCS) y verificando la capacidad de la sección al nivel de desbordamiento a partir de los aforos realizados en la fase de campo.

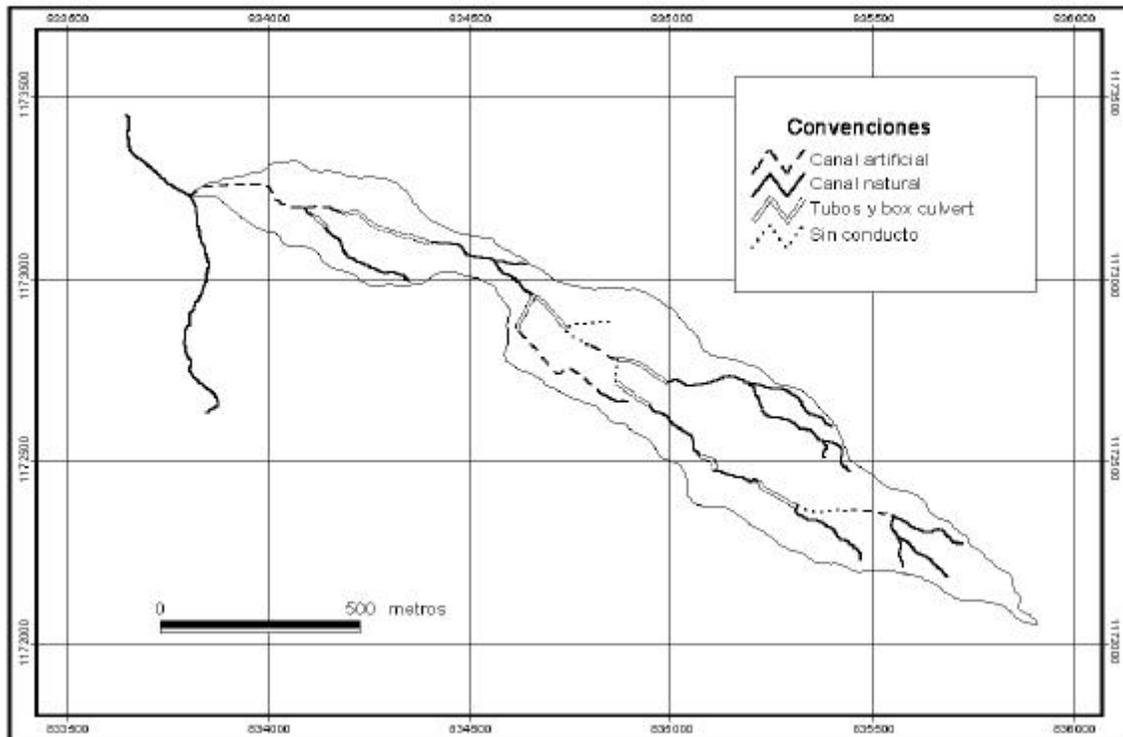


Figura 4. Intervenciones en el canal de la quebrada Las Brujas.

La evaluación hidráulica puede realizarse mediante el modelo HEC-RAS (desarrollado por el Hydrological Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers) indicando las características de cada tramo (canal abierto, tubería, box culvert, etc.). El análisis hidráulico pretende obtener la capacidad de transporte de los canales en diferentes puntos de la red para identificar problemas de desbordamiento del flujo (especialmente en zonas intervenidas), socavación, acumulación indeseable de sedimentos; etc. para recomendar las medidas necesarias para garantizar la evacuación del flujo en forma apropiada (plan de ordenamiento hidráulico del cauce). Este es un paso fundamental en la metodología e incluye diseños detallados de las obras que fueron seleccionadas para construcción. Estas estructuras (tubos, canales, etc.) deben ser diseñadas para lograr los objetivos apropiados, incluyendo los de seguridad y protección ambiental.

En la quebrada Las Brujas existen numerosos llenos sobre el canal, de una longitud total aproximada de 5 Km de canales, 964 m (19%) son conducidos a través de tubos y box culverts y 396 m (8%) corren de manera subsuperficial sin ningún tipo de conducción. Sólo un 56% de los canales (2.8 Km) se conservan en condiciones naturales y el 17% restante (860 m), aunque son canales intervenidos (acequias y canales en piedra o en concreto), aún están descubiertos. Los resultados obtenidos en el inventario de intervenciones en el canal, por medio del análisis de fotografías aéreas y revisión en campo, se muestran en la Figura 4.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS MORFODINÁMICOS ACTIVOS Y PROCESOS ANTRÓPICOS

Esta etapa se basa en la clasificación y análisis de las zonas de erosión laminar, deslizamientos, amenaza por movimiento en masa y en general todos los procesos activos naturales y antrópicos (erosión concentrada, socavación, surcos, cárcavas, organales, reptación, acumulación, incisión; aportes de aguas negras, escombros y basuras en zonas concentradas del cauce; rellenos sanitarios, llenos y cortes para las vías).

Se deben cuantificar las tasas de erosión para la configuración actual y para la cuenca controlada por los procesos naturales, estimar las tasas de cambio e identificar las zonas de amenaza para establecer los efectos acelerados por las acciones antrópicas. Es necesario hacer una revisión de derechos y concesiones para el uso del agua, criterios, planes, programas y proyectos relacionados con el desarrollo de los recursos de las cuencas; determinar la disponibilidad del recurso hídrico y su relación con la demanda actual y futura y definir las tendencias de los usos del agua (riego, consumo doméstico e industrial) para ayudar a orientar su desarrollo, si es posible hacer inventarios de recursos, incluyendo la disponibilidad local y regional, cantidad y demanda de agua superficial y subterránea.

Se identificaron las áreas según uso (deforestación, sobrepastoreo, etc.), pendientes, precipitación y litología y se evaluó la susceptibilidad a la erosión en cada punto de la cuenca (píxeles de 25 m²) utilizando la metodología desarrollada por la firma Integral para el Proyecto Cañafisto (Cuenca del río Cauca) y aplicada a la cuenca de la quebrada Santa Bárbara en el departamento de Antioquia [1], que permitió hacer una descripción cuantitativa asignando valores a cada uno de los factores en la siguiente ecuación:

$$ER = 0.2*(G+P+S)+0.4* \quad (1)$$

Donde la erosión relativa (ER) se expresa en mm/año. El primer término (G) considera aspectos como la litología, grado de meteorización y textura. Los factores P y S, tienen en cuenta respectivamente la precipitación y la pendiente del terreno. El cuarto término (V) está relacionado con los usos del suelo

Una forma de evaluar cualitativamente la influencia de la intervención antrópica en los diferentes procesos morfodinámicos se muestra en la Tabla 1.

Se puede notar lo siguiente:

- ★ Los procesos que se pueden ver alterados o acelerados por un mayor número de intervenciones son la erosión laminar, los movimientos en masa y la socavación; en segundo lugar y con una menor afectación se encuentran las cárcavas, la incisión y los surcos; por último, los menos alterados por la intervención antrópica son los organales.
- ★ Las intervenciones que comprometen un mayor número de procesos son los drenajes inapropiados que de alguna manera tocan todos los demás procesos considerados; los procesos de urbanización, llenos, vías, rectificación de canales y canalizaciones, aunque en menor medida, también están relacionados con un amplio número de procesos; finalmente, la disposición de basuras y vertimiento de aguas residuales podría tener menor influencia en los procesos considerados.

Tabla 1. Relaciones proceso / intervención

Proceso	Intervención													
	Vías	LLenos	Cortes	Puentes	Explanaciones	Vertimiento Aguas residuales	Rellenos sanitarios	Basuras	Sobrepastoreo	Drenajes inapropiados	Canalizaciones.	Rectificación de cauces	Cultivos limpios	SUMA
Movimientos en masa	X		X		X				X	X	X	X	X	8
Tubificación	X	X			X		X			X				5
Organales										X	X	X		3
Cárcavas		X	X		X					X		X	X	6
Surcos		X			X	X			X	X				5
Incision				X				X		X	X	X		5
Socavación	X			X		X	X	X		X	X	X		8
Erosión laminar	X	X	X		X	X			X	X			X	8
SUMA	4	4	3	2	5	3	2	2	3	8	4	5	3	

Una herramienta matemática para estimar el impacto originado por las intervenciones en los distintos procesos naturales de una cuenca hidrográfica, puede llegar a ser muy compleja, por lo que se propone, para este nivel de la investigación, una relación cualitativa de las relaciones cuenca – proceso morfodinámico – intervención antrópica, según se indica en la Tabla 1. Si todos los procesos pudieran estar representados correctamente con ecuaciones matemáticas, se podría fácilmente construir un modelo matemático del sistema total, el cual permitiría hacer pronósticos con un grado de precisión relativamente alto.

CONCLUSIONES

La alteración de la red de drenaje de la quebrada Las Brujas se inició hace mas de 50 años cuando empezaron los procesos de urbanización en la cuenca y con ellos se asocia la alta inestabilidad de los terrenos que se manifiesta con el agrietamiento de viviendas y principalmente, con procesos de tubificación avanzada y movimientos en masa. La cuenca de la Ahuyamera está menos afectada por los procesos de urbanización que se han intensificado en las ultimas dos décadas. A pesar de tratarse de cuencas tan pequeñas como las quebradas Las Brujas y la Ahuyamera, con caudales pequeños, aparentemente inofensivos, ya son bastantes los casos en los cuales las intervenciones mal planificadas han tenido consecuencias catastróficas o por lo menos han llevado a condiciones de alto riesgo para el municipio de Envigado y sus habitantes

El modelo de análisis cualitativo aplicado a la cuenca de la quebrada Las Brujas mostró una buena representación de las condiciones de inestabilidad actuales, e igualmente se aplicó a la cuenca dela quebrada La Ahuyamera que esta menos intervenida y mostró también una menor severidad en los procesos analizados, consecuente con la situación física actual.

REFERENCIAS

1. Empresas Públicas de Medellín, EPM, 1990. Unidad de Planeación de Recursos Naturales. Evaluación de la Metodología Utilizada para la Definición de Prioridades en Cuencas Hidrográficas y su Aplicación a la Cuenca de la Quebrada Santa Bárbara en el Municipio de Carolina. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
2. Municipio de Envigado, 2000. Plan de ordenamiento territorial de Envigado, POT 2000, Secretaría de Planeación de Envigado.
3. Solingral, 2000. *Inestabilidad Loma de Las Brujas*. Medellín.
4. Parra, A., 2001. *Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa en la Vertiente Izquierda de la Quebrada La Ayurá*. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín.