

EXPLORACIÓN SEMIDETALLADA DE MATERIAL DE ARRASTRE EN LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA

Lilian Posada García
Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
lposada@unalmed.edu.co

Gabriel Lozano Sandoval
Grupo de Investigación, Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y del Ambiente CIDERA
Facultad de Ingeniería, Universidad del Quindío, Armenia
galozano@uniquindio.edu.co

Preparado para presentación en el
XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología
Sociedad Colombiana de Ingenieros
Sociedad de Ingenieros del Quindío
Universidad del Quindío
Corporación Autónoma Regional del Quindío
Armenia 29, 30 y 31 de octubre de 2004

Resumen: El material de arrastre en los ríos hace parte fundamental en su dinámica fluvial. A partir del terremoto en la región cafetera de Colombia en enero de 1999, en el sector de la construcción se generó una sobreexplotación de los materiales de arrastre. Por tal razón, el gobierno central colombiano y las autoridades ambientales plantean el plan ambiental para el proceso de reconstrucción de la región. Se realiza el estudio en la actividad extractiva de material de la cuenca del Río La Vieja y sus tributarios los ríos Barragán, Lejos, Verde y Quindío, con el propósito de obtener un ordenamiento de la actividad y sus impactos sobre la dinámica fluvial, la topografía asociada, la capacidad de recuperación de dichas fuentes, además se evalúa la disponibilidad de materiales de construcción (arrastre), sitios de agradación y degradación. Se identifican algunos posibles sitios de explotación tanto en ríos como en terrazas. Se realiza un estudio a un nivel semidetallado el cual incluye los respectivos estudios geológico, geomorfológico, hidrológico, hidráulico, sedimentológico, y ambiental, con base en herramientas tales como modelos hidrológicos, hidráulicos y de transporte de sedimentos, georeferenciación, análisis de laboratorio, y sistemas de información geográfico SIG, etc. El objetivo de este artículo es presentar un resumen sobre la exploración semidetallada de materiales de arrastre en la cuenca del río La Vieja Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “Estudio de exploración semidetallada de material de arrastre en algunas corrientes de interés prioritario para la reconstrucción de la zona afectada por el sismo del 25 de enero de 1999” corresponde a una de las componentes del plan de manejo ambiental para la recuperación del eje cafetero, formulado por el FOREC (Fondo para la reconstrucción y desarrollo social del eje cafetero), Ministerio del Medio Ambiente y las Corporaciones Autónomas Regionales del área afectada (CRQ, CARDER, CVC, CORTOLIMA y CORPOCALDAS).

En el estudio se analiza la información hidrológica, geomorfológica y la dinámica fluvial en la cuenca del río la Vieja y sus afluentes (ríos Lejos, Barragán, Verde y Quindío), para construir modelos de ordenamiento de la actividad extractiva. Dicho estudio se ha realizado en dos fases: La Fase I evalúa la disponibilidad de materiales de construcción en la cuenca del río La Vieja, identifica las explotaciones actuales, zonas potenciales de explotación, considera la evaluación geomorfológica de las cuencas de los ríos mencionados para conocer el impacto de las explotaciones en operación y determinar la ubicación de los sitios mas adecuados para cubrir la demanda de materiales que requiere la reconstrucción de la zona afectada, de tal manera que se minimicen los impactos negativos. La Fase II, se ha desarrollado simultáneamente con la primera fase y tiene como objetivo principal establecer los procedimientos y lugares mas adecuados para la explotación de material del río La Vieja y sus principales afluentes, los ríos Barragán, Quindío, Verde y Lejos. Evalúa las explotaciones mecanizadas y manuales actuales y su efecto sobre la dinámica fluvial, define el proceso de manipulación del material explotado, zonifica las áreas de explotación de material de arrastre y define los procedimientos ambientales adecuados para la explotación mecanizada.

El estudio fue realizado por la Unión Temporal Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y Universidad del Quindío, siendo la Fase I coordinada con la Corporación Autónoma de Risaralda (CARDER) y la Fase II con la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). El presente artículo pretende presentar de una manera resumida la aproximación a un estudio de Ordenamiento de la actividad de explotación de material de arrastre y terrazas duviales en una región de Colombia, haciendo énfasis dentro del estudio a algunos aspectos en geológicos, hidrológicos, hidráulicos, calidad de aguas, hidráulica fluvial como zonas de agradación-degradación, y geomorfológicos como zonas de reserva de material aluvial en terrazas, principalmente.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río La Vieja, con una extensión de 2736.9 km², está ubicada en la zona centro occidental del país, y es uno de los principales afluentes del río Cauca. La cuenca abarca la totalidad del departamento del Quindío (1745.5 km²) y parte del Valle del Cauca (588 km²) y parte de Risaralda (297.3 km²). Entre sus principales afluentes están los ríos Barragán, Lejos, Quindío, Verde, Roble. La **Figura 1** muestra la ubicación de la Cuenca del Río La Vieja.

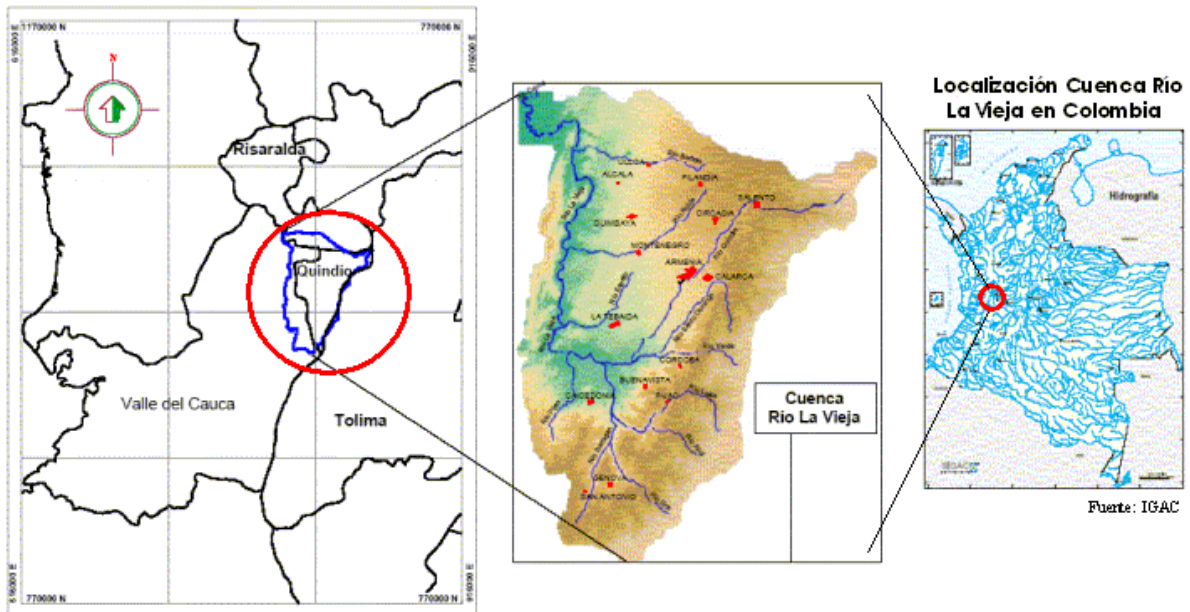


Figura 1 – Área de estudio cuenca del Río La Vieja en Colombia.

En la cuenca del río La Vieja y sus tributarios Verde, Quindío, Barragán y Lejos, se realizan tres tipos de explotaciones: manual o artesanal, mecanizada y mixta. En el inventario de explotaciones de material aluvial, se registraron 14 explotaciones mecanizadas, 5 manuales y 1 mixta. De acuerdo a los Planes de Ordenamiento Territorial (realizados posteriormente a las explotaciones actuales) en cada uno de los municipios involucrados en las explotaciones de material de arrastre, estas explotaciones, están dentro de las zonas de uso del suelo destinadas a esa actividad.

3. ADQUISICIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN

Para el desarrollo del estudio se hizo uso de las diferentes fuentes de información y bases de datos existentes en las diferentes instituciones, universidades y demás entidades hidrológicas, ambientales, geológicas y catastrales del país. Así mismo, se realizaron actividades de campo: **(1) Levantamiento topográfico y georeferenciación:** Se realizaron las diferentes secciones transversales, perfiles longitudinales en las principales zonas de los diferentes ríos en estudio, principalmente en las zonas de explotación. Las secciones levantadas en campo se amarraron a la red del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. De igual manera se hizo el levantamiento planimétrico del canal utilizando GPS. En los planos presentados por la comisión de topografía se describen cualitativamente, tanto en planta como en perfil, los aspectos más relevantes del uso del suelo y la cobertura vegetal en las márgenes; en algunos casos también se mencionan rasgos morfológicos del terreno adyacente al río. **(2) Aforos Líquidos y Sólidos:** Se realizaron aforos líquidos y sólidos en 18 estaciones de interés en los cinco ríos en estudio para alimentar los modelos hidrológicos, hidráulicos y de transporte de sedimentos. En cuanto a los aforos sólidos, se

determinó: La *carga de fondo* por medio del muestreador Helley Smith en varias verticales de la sección transversal y la *carga en suspensión* se midió con el muestreador Collapsible Bag sampler. **(3) Calidad de Aguas:** Se tomaron muestras para el análisis físico-químico y biológico de las aguas en las 18 estaciones de interés de los ríos en estudio. **(4) Ensayo de materiales:** Se tomaron muestras del material de arrastre y se realizaron ensayos para determinar algunas características físicas y geomecánicas.

4. ASPECTOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS

En términos generales el río La Vieja y algunos de sus afluentes, utilizados como fuentes de material de arrastre, presentan una calidad de aguas que los hacen aceptables y se demuestra que el impacto de las actividades productivas no generan un gran impacto. También se observa que el parámetro de Sólidos Totales, que es uno de los que más se ve afectado con actividades como la extracción de material de arrastre mantiene su valor en todos los puntos de muestreo en un rango de 250 a 400 mg/l, conservándose debajo del valor máximo dado por los criterios de calidad en Colombia, el cual es de 500 mg/l.

5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El río La vieja corresponde a la confluencia de los ríos Quindío y Barragán y llega hasta la desembocadura en el río Cauca. El río La Vieja presenta sectores con características bien diferenciadas. El primer sector en una longitud aproximada de 28 km entre la confluencia del río Quindío y Verde hasta el sitio del El Alambrado, discurre en una amplia llanura aluvial, en un cauce trezado, con una canal relativamente ancho y con actividad erosiva lateral acentuada. En el sector descrito el curso del río presenta una dirección occidente-oriente el parecer debido a la presencia de una falla de cizalladura. Los materiales que conforman la llanura aluvial provienen de las cuencas de los ríos Verde, Lejos, Quindío y Barragán. El espesor de los depósitos pueden fácilmente sobrepasar los 12 m. El segundo sector se caracteriza por presentar un cauce sinuoso desde el sector de El Alambrado hasta el puente de la carretera Cartago – Armenia. En este tramo el río va controlado por las estructuras características de las rocas sedimentarias del terciario (formación Paila y Ferreira). Presenta llanuras aluviales, conformadas principalmente por los materiales aportados por los tributarios ríos Espejo, Roble, Barbas y otros de menor caudal, todos estos se encuentran disectando la vertiente izquierda. Los depósitos son de variada extensión y sus espesores debido a lo estrecho del cauce, puede oscilar entre los 3 y 6 m. Los materiales que aportan los tributarios mencionados, imponen en algunos tramos control sobre el flujo, siempre recostado sobre la margen izquierda siguiendo la orientación de la serranía de Santa Bárbara. En el tercer sector, el río presenta características similares al primer sector, sin embargo su cauce es meándrico bien definido.

6. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

El objetivo principal del estudio hidrológico fue conocer el comportamiento de las principales variables que influyen en la dinámica de los ríos y por ende los procesos de agradación y erosión objetivo principal de este trabajo. Se analizaron los registros históricos de series de caudales y precipitación en estaciones situadas en la región de estudio o cerca de ella. A partir de estos datos se hicieron los siguientes estimativos:

- ❑ Caudales medios de los ríos La Vieja, Quindío, Verde, Lejos, y Barragán.
- ❑ Precipitación media sobre toda la cuenca del río La Vieja.
- ❑ Caudales máximos y mínimos para diferentes periodos de retorno.
- ❑ Curvas de duración en sitios de interés de los ríos principales.
- ❑ Curvas de duración adimensionales para extrapolar información de caudales.

Con la información hidrológica anteriormente descrita se hizo la simulación hidrodinámica en los canales (caudales máximos, medios y mínimos) y se estimaron los volúmenes anuales de sedimentos transportados por las corrientes en los sitios de interés (curvas de duración).

7. ASPECTOS HIDRODINÁMICOS

El análisis hidrodinámico permite evaluar la capacidad de transporte líquido y sólido del río La vieja, y de sus principales afluentes. Este análisis esta ligado estrechamente con los resultados obtenidos en los diferentes ítems del estudio de Fase I así:

- ❑ Estudio Geomorfológico: indica las posibles mejores terrazas como fuentes de materiales.
- ❑ Estudio hidrológico: los caudales obtenidos permiten evaluar las tasas de transporte
- ❑ Dinámica fluvial: identifica los sitios más probables de depositación.

8. MÉTODO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Se determinaron las tasas de transporte en suspensión y de fondo para las condiciones de aforo de acuerdo a las características y limitaciones de los instrumentos de medición. Este procedimiento es importante para determinar el modelo de capacidad de transporte que mejor representa las características medidas en campo, lo cual permite hacer una extrapolación hacia otras condiciones de flujo. Mediante la implementación de los modelos apropiados se definieron las capacidades máximas de transporte de sedimentos que tiene la corriente en cada sitio de explotación y este resultado definió las tasas máximas de extracción que conserven el equilibrio dinámico de las corrientes.

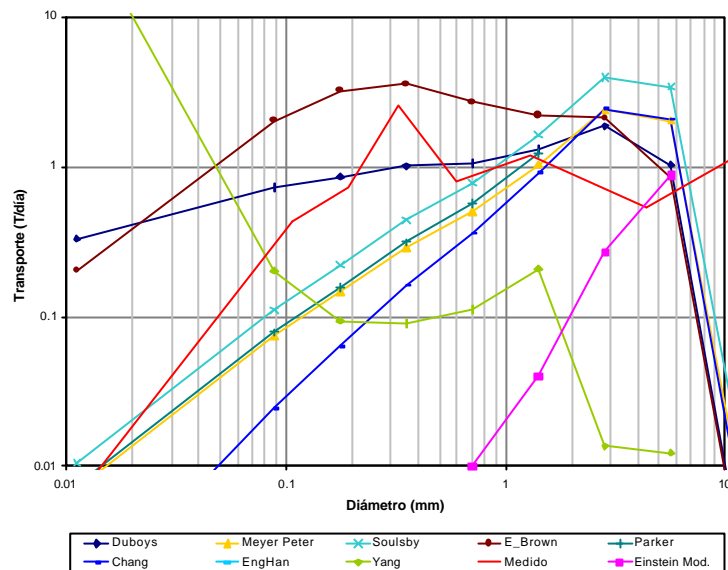


Figura 2 – Capacidad de transporte calculada por diferentes metodologías respecto al transporte de fondo medido en el aforo B1 del Río Barragán

Los resultados obtenidos en la aplicación de las metodologías de evaluación de transporte de sedimentos, se compararon con las mediciones de campo; en la **Figura 2** se presentan los resultados de aplicar las metodologías de transporte respecto al transporte medido de fondo para el sitio de aforo B1. Algunos de los métodos se evaluaron aprovechando un software elaborado en Visual Basic por la Universidad Nacional de Colombia para Empresas Públicas de Medellín denominado EPMSED y otros se implementaron en el lenguaje de programación IDL versión 5.2.

Entre los métodos existentes para evaluar carga de fondo, algunos son apropiados para estimar transporte de arenas mientras que otros son específicamente diseñados para el transporte de gravas. Sin embargo, ninguno de los modelos conocidos permite evaluar el transporte de cantos y bolas presentes en el lecho de los ríos de montaña, especialmente porque no han sido calibrados para estas condiciones de pendiente, caudal y tamaño grande sedimentos. Lo ideal sería realizar un conjunto de mediciones de carga de sedimentos a través del tiempo (aguas bajas y aguas altas) y registrar los cambios del lecho en tramos.

9. ZONAS DE AGRADACIÓN Y DEGRADACIÓN

La identificación de los sitios de agradación y degradación se hizo mediante la integración de varios elementos: análisis geomorfológico para estimar el comportamiento probable del sistema en estudio, una descripción cualitativa de los procesos dinámicos del cauce y una cuantificación de los cambios en el lecho del río, la cual se hizo usando modelos matemáticos. Para este tipo de modelación se recurrió al modelo HEC-6 versión 4.1 (octubre de 1993) denominado "Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs.

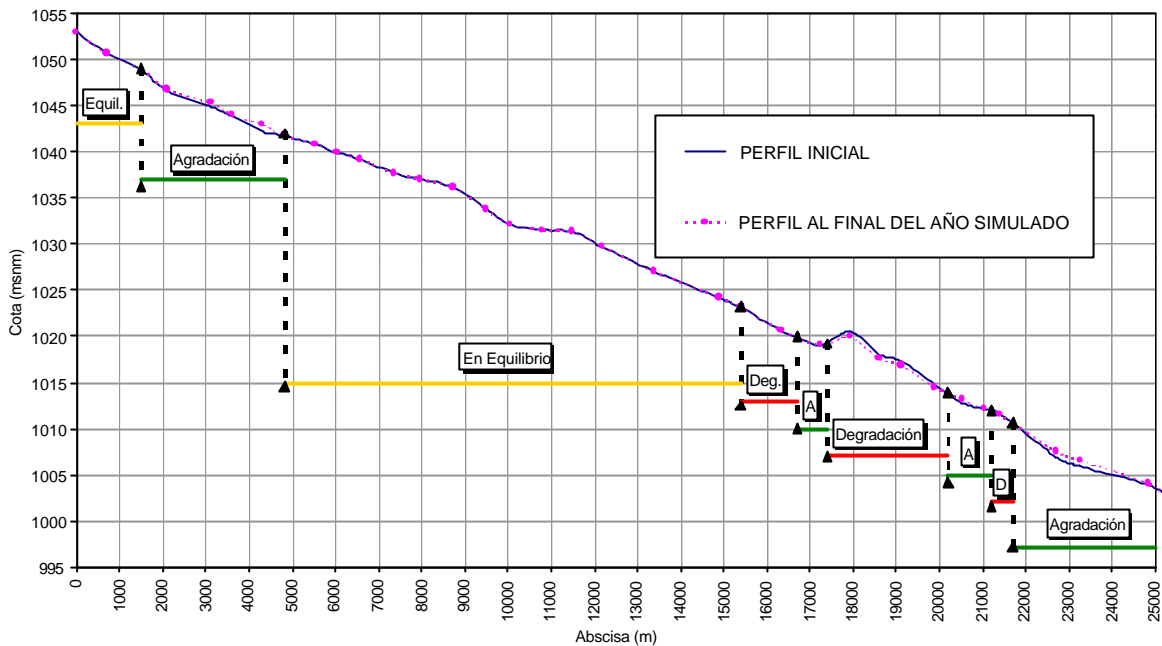


Figura 3 - Agradación - Degradación en el río La Vieja para condición hidrológica media

En la **Figura 3** se presenta la variación del nivel del lecho en toda la longitud modelada, relativas al nivel inicial del lecho y los perfiles longitudinales al principio y fin del período de simulación de un año para la condición hidrológica del ciclo anual para el río La Vieja. En la figura es posible identificar los tramos en los que se presentan condiciones propensas a la agradación y otras propensas a degradar.

10. ZONAS DE RESERVA DE MATERIAL ALUVIAL EN TERRAZAS

El análisis multitemporal de fotografías aéreas, los ensayos geomecánicos y el trabajo de campo permitieron identificar terrazas aluviales como zonas de reserva de materiales a explotar. La explotación de estas considera aspectos ambientales, económicos y culturales. Las características más importantes de las terrazas identificadas en la cuenca del río se analizaron en la Fase I, concluyendo que las unidades más promisorias como fuentes de materiales son las terrazas de Tarapacá y El Danubio. En el estudio de exploración semidetallada no se contemplaron perforaciones para precisar la profundidad de los depósitos; los volúmenes de reserva posibles en las terrazas se estimaron considerando depósitos horizontales, midiendo la superficie que aflora y multiplicándola por el espesor. De esta manera El Danubio tiene 5'484000 m³ y Tarapacá de 1'320000 m³. En cuanto al volumen de material depositado por un río, la tectónica activa juega un papel importante, además de los factores de tipo hidrológico. En ese aspecto la cuenca de La Vieja está cruzada al oriente, por el Sistema de Fallas de Romeral, el cual ha sido y sigue siendo bastante activo, la consecuencia es el permanente rejuvenecimiento de los ríos y la consiguiente alta tasa de erosión y de depósito en toda la cuenca.

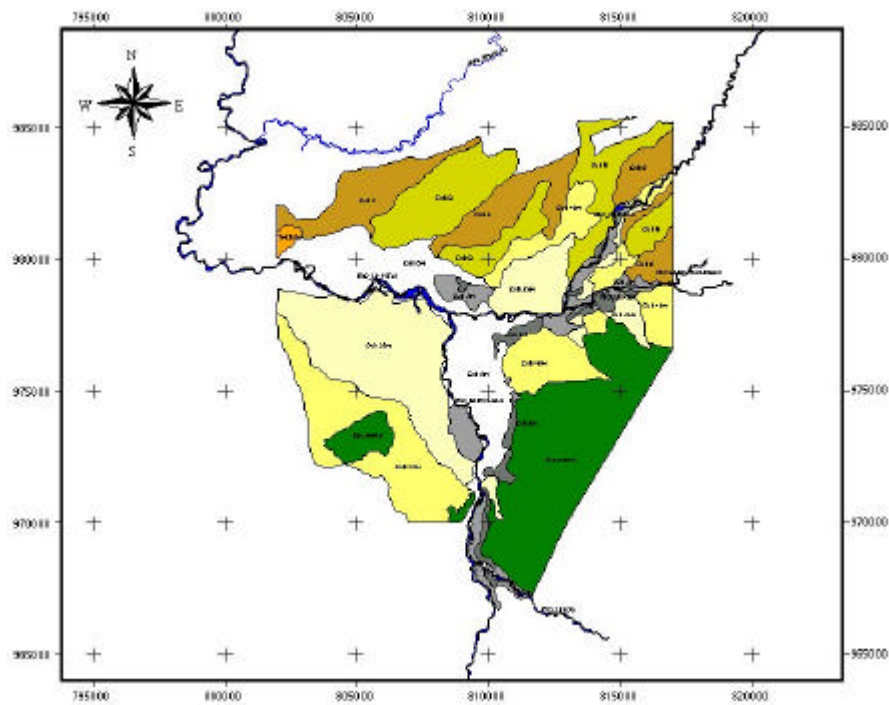


Figura 4 - Terrazas aluviales en la zona central “Franja en T”

11. ZONAS DE RESERVA DE MATERIAL EN LA ZONA CENTRAL - FRANJA EN T

En la cuenca del río La Vieja, se identificó una zona central, que en este estudio se denomina Franja en T (ver **Figura 4**), que proporciona la mayor reserva para explotación. Dentro de la zona central se identificaron sectores más específicos y sectorizados en cada uno de los ríos que hacen parte de la franja, proporcionando longitudes, áreas y volúmenes con potencial alto de explotación. Con el fin de no perturbar apreciablemente el lecho del río, se busca que el volumen de material que se extraiga sea proporcional al volumen que arrastra la corriente en épocas de caudales medios. Si se considera una profundidad máxima de 0.6 metros (tamaño de las rocas que cubren el lecho en épocas de caudales normales, para los ríos afluentes) para explotación dentro de los cauces y complejo de orillares, se estima un volumen total de explotación de 11'400.000 m³. En el estudio Geomorfológico se delimitaron seis zonas potencialmente aprovechables por la industria extractiva y se les jerarquizó en función de su localización geográfica, morfológica y de su extensión. Para identificar las áreas susceptibles a explotación se generó el mapa de zonas de agradación y degradación. Las zonas resultantes del análisis fueron superpuestas al levantamiento topográfico realizado para el río La Vieja y sus principales afluentes. En este mapa y para cada uno de los ríos se pueden diferenciar claramente los tramos que están en "equilibrio" es decir aquellos tramos donde no se presenta ni depositación ni socavación del cauce; tramos que están en agradación y otros que presentan proceso de degradación, para las condiciones hidrológicas consideradas.

12. METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE

Se realizó la zonificación de la actividad de explotación de material de arrastre y terrazas aluviales en la cuenca del río La Vieja, con base en los aspectos anteriormente mencionados, además de aspectos socio-económicos, legales, jurídicos, mediante elaboración de encuestas a todos los explotadores de la región, talleres con autoridades ambientales, entre otras. La metodología empleada en la zonificación fue:

- ❑ Recolección y análisis de información
- ❑ Información disponible
- ❑ Identificación de sitios potenciales de explotación
- ❑ Caracterización de explotaciones mecánicas y manuales
- ❑ Identificación de áreas potenciales a ser explotadas
- ❑ Elaboración y superposición en SIG (Arcview 3.2) de mapas temáticos
- ❑ Elaboración del mapa de zonificación potencial y final
- ❑ Elaboración de lineamientos para el ordenamiento de la actividad de explotación de material
- ❑ Elaboración de instrumentos para el manejo de áreas en conflicto

Al final se obtuvo el Mapa de zonificación de la Actividad Extractiva como producto final del Ordenamiento de la Actividad de Explotación en la cuenca del río La Vieja para los ríos y terrazas aluviales de interés en el estudio, tal como se muestra en la **Figura 5**.

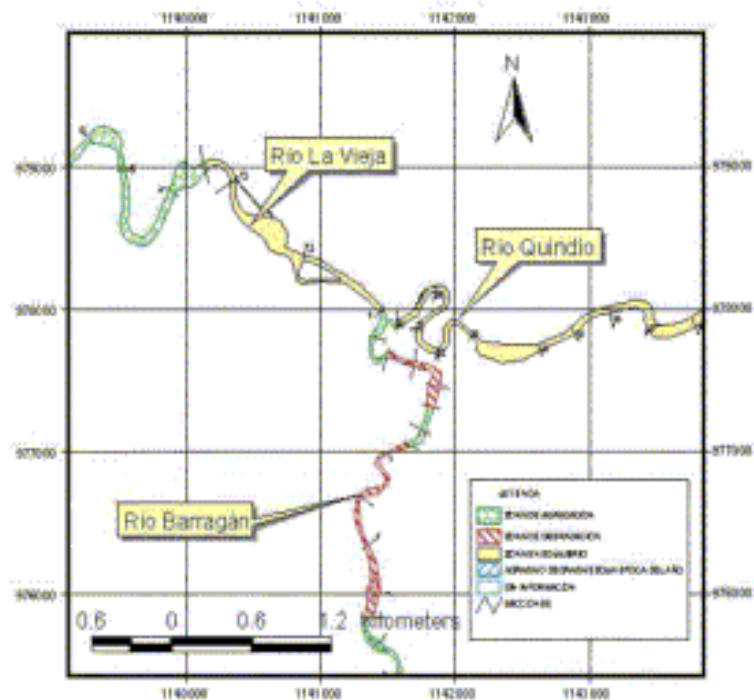


Figura 5 - Zonificación de la Actividad de Extracción de Material de arrastre y Terrazas

13. CONCLUSIONES

Con respecto al recurso minero, no se puede hablar de equilibrio dinámico en toda la corriente sino por tramos y períodos determinados de tiempo. La dinámica fluvial lleva a que la actividad de explotación sea difícil de ordenar utilizando métodos rígidos; es necesario plantear acciones flexibles que se vayan renovando con los cambios observados a raíz de la actividad de extracción. En épocas de crecidas el flujo ofrece volúmenes de acarreo grandes que podrían ser explotados una vez pase la onda de creciente. Sin embargo, se dificultaría las acciones de seguimiento y control a dichas explotaciones por lo que es necesario implementar medidas de control verificables a corto y mediano plazo.

Con respecto a la actividad de explotación, a nivel nacional y regional, la actividad ha sido desordenada, debido a la falta de instrumentos y políticas que involucren aspectos en el ámbito social, ambiental, institucional, político y económico, que garanticen un beneficio para los actores involucrados.

Con respecto a la dinámica de la corriente, los sitios que muestran degradación deben ser cuidadosamente vigilados por la autoridad ambiental pues son susceptibles a la socavación y de ser explotados, generarían impactos adversos de difícil recuperación. La instrumentación de la cuenca es recomendable para el mejor aprovechamiento de los recursos. Debe trabajarse en la constitución de un sistema de seguimiento y control que permita registrar cambios en la línea thalweg y así tomar las disposiciones necesarias para control de la extracción de material y protección del cauce.

Con respecto a los aspectos ambientales, se requiere reforzar la gestión ambiental para mitigar alteración del ecosistema, en cuanto a: deterioro del paisaje de las zonas intervenidas, erosión y socavación en las orillas, erosión remontante en los afluentes, pérdida de cobertura vegetal, cambio de uso del suelo, aprovechamiento forestal, deterioro del ambiente por emisión de material particulado a la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

- CVC. Informe Técnico S.G.A. - I - 062 - 2000. Situación actual del río la Vieja Tramo Río Lejos - Puerto Samaria.
- FOREC, 2000. Plan de Manejo Ambiental Para la Recuperación del Eje Cafetero Afectado Por el Sismo de Enero de 1999, Manizales.
- Gilliland, J.C. (1977). The Environmental Requirements of Mine planning. Mineral Industry costs, Mining Association (Northwest): pp. 57-65.
- MARTÍN VIDE, J.P., 2000. Ingeniería Fluvial. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Enero.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA DE COLOMBIA- MINERCOL, Código de Minas.
- NATIONAL COAL BOARD, 1997, NCB, Cone Indenter, Mining Research, Handbook Nº 5.(British Coal).
- TAYLOR, H.R. (1977). Mine Valuation and Feasibility Studies. In Mineral Industry Costs.
- USER'S MANUAL. HEC-6. Scour and Deposition in rivers and Reservoirs. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Center. August, 1993. 161 p.
- VISIÓN DEL AGUA Y LA NATURALEZA. Unión Mundial para la Naturaleza, World Water Visión, Año 2000.