

TRABAJOS DE CONTROL DE EROSION EN LA CUENCA  
DE LA QUEBRADA SANTA BARBARA  
CAROLINA DEL PRINCIPE, ANTIOQUIA

Por: JAIME DANILO DUQUE M.  
División Medio Ambiente  
Empresas Públicas de Medellín

## 1. ANTECEDENTES

Posterior a la construcción del embalse Troneras (ver figura No.1, en anexo No.1 Figuras) se presentó en los alrededores del municipio de Carolina del Príncipe, una abundante depositación de sedimentos que elevó el nivel (base) de las quebradas que atraviesan el casco urbano del municipio, ocasionando problemas tales como: Obstrucción del sistema de alcantarillado, inutilización de puentes y carreteras, elevación del nivel freático, aparición de zonas húmedas, inundación de terrenos y edificaciones, descontento en la población y disminución de la vida útil del embalse.

En octubre de 1986, la Dirección de Planeación de las Empresas Públicas de Medellín elaboró el estudio del problema de sedimentación en Carolina - Diagnóstico y formulación de soluciones.

Entre agosto de 1989 y mayo de 1991 la Dirección de Planeación entregó a la División Medio Ambiente, para contratación y construcción de los trabajos, los diseños de los tratamientos biológicos y obras civiles para controlar y manejar la producción, el transporte y la depositación de sedimentos en las subcuencas de la cuenca de la quebrada Santa Bárbara.

## 2. OBJETIVOS

Con la instrumentación de la cuenca, la construcción de las obras y la ejecución de los tratamientos biológicos que se adelantan en la cuenca se pretende:

1. Disminuir la torrencialidad de las corrientes de agua en la zona.
2. Controlar los procesos erosivos identificados en la cuenca, para disminuir la producción y transporte de sedimentos desde la parte alta de la misma.

3. Manejar y controlar los problemas ocasionados por la sedimentación en la parte baja de la cuenca, anotados anteriormente.

### 3. ACCIONES ADELANTADAS

Para el logro de los objetivos, la División Medio Ambiente ha realizado las siguientes actividades, desde 1989 hasta diciembre de 1991, por departamentos así:

#### 3.1 CONSTRUCCION DE OBRAS CIVILES. DEPARTAMENTO RELACIONES CON LA COMUNIDAD:

En las subcuencas La Tachuelo, Los Pinos, La Teresita, El Carmelo, La Paz, y Santa Bárbara se han construido diques, presas y espolones para un total de 3.957 m<sup>3</sup> de gaviones por valor total \$138.888.000 (precios corrientes) distribuidos así:

AÑO	NUMERO DE OBRAS	VALOR (MILES DE PESOS)
1989	3	582
1990	10	45.538
1991	46	<u>92.768</u>
		138.888

#### 3.2 EJECUCION DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS. DEPARTAMENTO CONSERVACION Y MANEJO FORESTAL.

En las subcuencas la Tachuelo, La Teresita, El Carmelo y la Paz, se han tratado 8,11 hectáreas por un valor total de \$27.432.000 (precios corrientes) distribuidos así:

AÑO	NUMERO DE TRATAMIENTOS	VALOR (MILES DE PESOS)
1989	1	3.009
1990	14	14.026
1001	<u>15</u>	<u>11.403</u>
	30	28.448

La metodología para la ejecución de los tratamientos en los movimientos en masa está dirigida al manejo de las aguas de infiltración y de la cobertura del suelo.

Para llevar a cabo la propuesta de la Unidad Planeación Recursos Naturales, consistente en mejorar las coberturas de pastos, se firmó un contrato con la Universidad Nacional de Colombia Facultad de Agronomía, cuyo objetivo general era: Cambios y

mejoras en el uso de los potreros en la cuenca hidrográfica de la quebrada Santa Bárbara. El contrato se inició el 4 de julio de 1989, hasta octubre 10 de 1990, por un valor de \$5.965.000. Posteriormente el contrato se prorrogó hasta octubre 31 de 1992 y en valor por \$2.920.000 para un valor total de \$8.885.000.

### 3.3 INSTRUMENTACION DE LA CUENCA, DEPARTAMENTO E INSTRUMENTACION

Entre las recomendaciones de Diagnóstico se incluyó mejorar la precaria instrumentación hidrológica disponible en la cuenca en 1986 y se instalaron estaciones limnigráficas, pluviográficas y climatológicas.

## 4. TECNICAS DE MONITOREO

### 4.1 Para las obras civiles

El monitoreo del comportamiento y del efecto de las obras civiles ha sido de carácter cualitativo, por medio del reconocimiento amplio y continuo de las respuestas físicas y biológicas de las corrientes con motivo de la construcción de las obras y ejecución de los trabajos, y cuantitativo por medio de la evaluación de distintos aspectos y variables tales como:

**La pendiente:** Efectivamente se ha observado disminución de la pendiente longitudinal de las corrientes en los tramos de las quebradas aguas arriba de las obras construidas.

Al disminuir la pendiente aguas arriba de las obras ha disminuido la torrencialidad, se ha posibilitado el desarrollo de especies vegetales y animales.

**Alineamiento Horizontal:** El funcionamiento hidráulico de las quebradas, presentado con posterioridad a la construcción de las obras y la ejecución de las rectificaciones, permanece estable y separado de las vertientes, antes fuentes de sedimentos.

También presenta cauces más angostos y profundos en comparación con los anteriores que eran más amplios y trenzados.

Al comparar las batimetrías de los años 1989 y 1992 se observa, aguas abajo de las obras construidas en los alrededores del casco urbano, un descenso en el nivel base de la quebrada Santa Bárbara, permitiendo un funcionamiento adecuado del sistema de alcantarillado del municipio, descenso del nivel freático, aumento de los gálibos y mayor aceptación de las obras por los propietarios en particular y de la comunidad en general.

## 4.2 PARA LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

En el caso de los tratamientos biológicos, hasta el momento, las evaluaciones han sido de carácter cualitativo,; precisamente, para poder subsanar esta situación se está haciendo el montaje para el monitoreo de un derrumbe representativo que contribuirá a una mayor evaluación de los tratamientos.

Partiendo de recomendaciones de estudios se han adelantado las siguientes labores:

### a. Estaciones Limnigráficas:

En agosto de 1986 se instaló un limnógrafo en la parte baja de cada una de las quebradas Santa Bárbara, Las Paz y el Carmelo, para registrar continuamente el caudal de estas corrientes. Desafortunadamente no se estableció una relación entre los caudales y los niveles registrados por los limnógrafos. Adicionalmente, los dragados efectuados en las zonas bajas de las quebradas produjeron cambios notables en el comportamiento hidráulico.

Ante esta circunstancia, a finales de 1988 se decidió trasladar los limnógrafos de las quebradas Santa Bárbara y La Paz a sitios más aguas arriba. En la quebrada El Carmelo no fué posible encontrar un sitio más adecuado para trasladar el limnógrafo.

En los sitios donde antes funcionaban las estaciones se instalaron maxímetros para continuar registrando los niveles máximos de crecientes, los que podrían dar alguna información sobre cambios en los patrones de las hidrógrafas de la cuenca.

Aunque en los nuevos sitios no se presentan tan frecuentemente los problemas de obstrucción de las tuberías de las estaciones, no se ha podido obtener la relación entre los niveles registrados y los caudales de la corriente porque los aforos realizados hasta el momento todos han sido para niveles bajos, ya que las crecientes son de poca duración y se presentan generalmente en horas de la noche, cuando las labores de aforo se tornan peligrosas.

Ante este hecho, durante el invierno de finales del año pasado se adelantó un contrato para la ejecución de aforos de caudales altos, con tan mala fortuna que el período fue mucho más seco de lo que era esperable por lo que no se lograron los objetivos.

Por lo anterior, se tomó la decisión de trasladar los limnógrafos a las presas que actualmente se están construyendo sobre las quebradas, donde se tienen condiciones hidráulicas más estables, se cubren áreas de drenaje mayores y se podrá encontrar más fácilmente sus curvas de calibración a partir de

la ecuación teórica de la sección vertiente. Hasta el momento se han instalado limnógrafos sobre presas en las quebradas La Tachuelo, Los Pinos y La Hermosa.

En resumen, la información obtenida sobre caudales en la cuenca es muy pobre e insuficiente para cualquier análisis sobre cambios en el régimen de las crecientes por efectos de las obras construidas hasta el momento.

#### b. Estaciones Pluviográficas:

Para registrar las precipitaciones en la zona se instalaron las siguientes estaciones en la cuenca: Estación Pluviométrica "Carolina", Pluviógrafos "Guanacas", "La Sirena", "El Tachuelo" y una estación climatológica.

#### c. Levantamientos Batimétricos:

Con miras a determinar el volumen de sedimentos transportado por las corrientes de la cuenca y el patrón de depositación de éstos en el embalse, se han llevado a cabo varios levantamientos batimétricos en años recientes: Uno de ellos se efectuó en 1986 recién iniciados los estudios de control torrencial.

Posteriormente, en 1987 se efectuó un nuevo sondeo batimétrico de todo el embalse. En 1989 se efectuó otra batimetría de todo el embalse, que indicó una pérdida significativa de capacidad útil, por lo que se modificó la curva de calibración utilizada en la operación de este embalse.

Actualmente, se está adelantando un nuevo sondeo parcial de las colas del embalse en las confluencias del río Guadalupe y la quebrada Santa Bárbara, que al compararlos con el sondeo de 1990 permitirá apreciar los primeros efectos de las obras construidas sobre las quebradas de la cuenca. antes de 1986 se habían efectuado varias batimetrías del embalse de Troneras que permiten a su vez determinar las situaciones en cuanto a producción de sedimentos, antes de iniciarse las obras.

### 5. RESPUESTA DE LA CUENCA A LAS ACCIONES AMBIENTALES

La respuesta de la cuenca se puede apreciar en los siguientes aspectos:

1. **Comportamiento Hidráulico:** Con los trabajos de rectificación (vertical y horizontal) de cauces por medios directos (equipo mecánico) o indirectos con la construcción de las presas, espolones y diques se logró un comportamiento hidráulico de las quebradas con un alineamiento más adecuado, pendientes más suaves, cursos de agua menos anchos, menos

erosivo, las separó de las fuentes de sedimentos y permitió la estabilización de las vertientes, orillas de las quebradas y las zonas tratadas.

**2. Transporte de sedimentos:** El nuevo régimen hidráulico tiene una capacidad de transporte de sedimentos mucho menor, tanto en la parte alta, como en la parte media de las quebradas La Paz y Santa Bárbara.

Se observa una estabilización de las vertientes y por ende, una disminución del transporte desde las partes altas de la misma. En la parte baja, se observa menor sedimentación e inclusive, la capacidad de transporte de las corrientes es mayor que la tasa de aportes de sedimentos, lo cual explica por qué se han destapado capas de material más grueso (lecho original de la quebrada), lográndose "acorazamiento" (presencia de materiales de mayor tamaño en el fondo que la corriente no es capaz de arrastrar) del lecho en ciertos tramos.

A partir de las batimetrías registradas por el Departamento de Hidrometría e Instrumentación, en 1987 y 1989, se estimó un volumen promedio anual de 200.000 m<sup>3</sup> de sedimentos depositados en las cabeceras del embalse y, para la misma zona, se estimó preliminarmente, un volumen promedio anual de 50.000 m<sup>3</sup> aportados por las cuencas de río Guadalupe, quebrada Hojas Anchas y la quebrada Santa Bárbara.

**3. Biológico:** La respuesta a los tratamientos biológicos presenta una notoria repoblación vegetal en la totalidad de los derrumbes tratados, observándose coberturas que alcanzan dos (2) metros de altura.

Es interesante destacar como avanza la sucesión vegetal a medida que se estabilizan los tramos entre presas y entre trinchos construidos en los afluentes.

**4. Infraestructura:** Como resultado conjunto del más adecuado comportamiento hidráulico de las quebradas, del tratamiento biológico en los derrumbes y por ende un menor transporte de sedimentos se ha logrado que la infraestructura vial en la parte baja de la cuenca, así como el sistema de alcantarillado del municipio funcionen adecuadamente sin requerir, en los últimos 2,5 años, la ejecución de costosos dragados.

**5. Hidrológica:** La respuesta más significativa de la cuenca desde el punto de vista hidrológico, sería una disminución en la magnitud y frecuencia de las crecientes y en la producción y transporte de sedimentos. Para determinar cuantitativamente estos cambios es indispensable disponer de registros continuos de caudales antes y después de la ejecución de las obras; sin embargo, por razones anotadas, no ha sido posible convertir a

caudales los niveles registrados en las estaciones limnigráficas.

## 6. PARTICIPACION DE LA COMUNIDAD

### 6.1 DIVULGACION DEL PROGRAMA

Desde finales de 1988 se convocó a las principales entidades y personas para compartir la información relacionada con el programa de control de sedimentos en la cuenca completa de la quebrada Santa Bárbara y participaron miembros del Concejo y la Administración municipal, el señor cura párroco, el jefe de Núcleo Educativo de Carolina, el Comandante del puesto de policía, líderes cívicos y de las acciones comunales y demás miembros del comité interinstitucional del municipio, además de los propietarios de los predios beneficiarios con el programa de obras.

### 6.2 CONTRATACION CON FORMAS ASOCIATIVAS

Durante el año de 1988 se promovió la formación de grupos precooperativos y se trabajó en la asistencia y consolidación de estas formas asociativas. Los contratos para la realización de las obras se llevaron a cabo con el Grupo Precooperativo El Porvenir, Grupo Precooperativo Precoopríncipe y con la Alcaldía Municipal.

Mediante la ejecución de trabajos se ha dado empleo directo a 45 personas, que han permanecido vinculadas desde el inicio de las obras.

El valor total pagado a las formas asociativas por el Departamento Conservación y Manejo Forestal asciende al \$28.448.000 y por el Departamento Relaciones con la Comunidad asciende a \$ 138.880.000 para un total de \$ 167.336.000.

### 6.3 RECEPTIBILIDAD DE LOS PROPIETARIOS

Inicialmente los propietarios de las fincas localizadas en la zona fueron incrédulos con respecto a los programas de las Empresas Públicas, quizá por los precedentes de incumplimiento en años anteriores. Su respuesta inicial era que "mejor venderían sus tierras". Durante el segundo semestre de 1988, se realizaron reuniones con ellos para explicar los tratamientos biológicos y de las obras civiles y para suministrar información relacionada con programas de mejoramiento de pastos, reuniones en las que se contó con la participación de las autoridades del pueblo.

Posteriormente los propietarios después de realizadas las obras y tratamientos, han manifestado satisfacción por las mismas ya que han visto sus beneficios. Así mismo, han cedido otras áreas (en total 90 ha) para actividades de reforestación y protección de orillas.

## 7. ACCION INTERINSTITUCIONAL

Para la ejecución de los trabajos se ha llevado a cabo coordinación interinstitucional con la Administración municipal, los grupos precooperativos, los propietarios de los predios, Obras Públicas Departamentales, la Universidad Nacional, la Secretaría de Agricultura y otras dependencias al interior de las Empresas Públicas de Medellín.

## 8. EVALUACION ECONOMICA PRELIMINAR

Dentro de la metodología utilizada para la evaluación económica preliminar se establece:

1. Todos los trabajos realizados por la División Medio Ambiente con motivo del control de erosión y protección ambiental en la cuenda de la quebrada Santa Bárbara se consideran inversiones, por ejemplo: tratamientos biológicos, investigaciones para mejoras en el uso de potreros, instrumentación y construcción de obras civiles. Utilizando un índice de precios al consumidor del 28% promedio anual se actualizaron todas las inversiones al año 1992 y se obtuvo un valor total de \$387.000.000. Las obras y tratamientos se ejecutaron principalmente en los años 1990, 1991 y 1992. La máxima inversión anual se presentó en 1991.

2. Todos los trabajos y actividades realizados por las Empresas para atender la problemática en la zona, no incluidas dentro del programa de control de erosión y protección ambiental se consideran gastos, por ejemplo: Operaciones de dragados y adecuación de zonas bajas, utilizando un mismo índice se actualizaron los costos al año de 1992 y se obtuvo un valor total de \$ 260.000.000. Los dragados se ejecutaron principalmente en los años 1988, 1989 y 1990. El máximo costo anual se presentó en 1989.

3. El período de análisis seleccionado es de 20 años a partir de 1989, año en el cual se realizó el máximo costo anual. Se selecciona un ajuste al período que resta de la vida útil de la central Troneras y al período de diseño de las obras de control de erosión y protección ambiental.

4. A partir de los resultados presentados, relacionados con la disminución del volumen anual de sedimentos depositados desde 200.000 m<sup>3</sup> hasta 50.000 m<sup>3</sup>, en la zona mencionada, se estima que la ejecución de los eventuales dragados que se presenten se separarán por un período de 4 años, como consecuencia de los trabajos de control de erosión en la cuenca de la quebrada Santa Bárbara.

## 9. CONCLUSIONES

Los trabajos de control de erosión y protección ambiental realizados en la cuenca de la quebrada Santa Bárbara, permiten concluir en lo técnico, económico, social y ambiental lo siguiente:

1. El proceso técnico desarrollado por las Empresas y utilizados en los trabajos, que incluye el diagnóstico del problema e identificación de sus causas, diseño de las obras, su construcción y evaluación, así como los resultados, permiten concluir que es una respuesta técnica eficaz para el tratamiento del problema erosión y sedimentación.

2. Los trabajos de control de erosión son económicamente más atractivos frente a la alternativa de dragados permanentes.

3. Con los trabajos de control de erosión se posibilitó la creación de formas asociativas, brindándoles asistencia técnica, administrativa y legal, y se han celebrado con ellas, contratos por un valor de \$167 millones; se ha dado empleo directo a 45 personas, que han permanecido vinculadas a las formas asociativas desde el inicio de las obras.

La comunidad, nuevamente, dá credibilidad a las Empresas.

4. Los trabajos de control de erosión y protección son ambientalmente más funcionales, pues dan un tratamiento más integral a la problemática.

## 10. RECOMENDACIONES

1. Continuar ejecutando, en la cuenca de la quebrada Santa Bárbara, actividades de carácter investigativo, de registro y mantenimiento que permitan reducir los costos de trabajos que se realicen en otras áreas.

2. Aplicar trabajos similares en cuencas identificadas de acuerdo con los criterios del numeral anterior, por ejemplo: En las quebradas La Tortura, Orobajo y Los Atajos que drenan al embalse Río Grande II.

3. Realizar programas de divulgación e información de los trabajos y resultados realizados en la cuenca de la quebrada Santa Bárbara.