

---

# Utilización de geoestructuras en obras de protección fluvial

## Use of geostructures in protection works river

---

Danny Orlando Naranjo Lasso<sup>1</sup>

Citación del artículo: Naranjo, D (2016). Utilización de geoestructuras en obras de protección fluvial

*Fecha de recepción: 3/09/2016*

*Fecha de aprobación: 19/09/2016*

### Resumen

Una gran cantidad de municipios colombianos se han fundado a orillas de los ríos considerando su comunicación fluvial a través de cientos de kilómetros navegables como es el caso de los ríos Magdalena, Cauca, Atrato, San Juan, Baudó, Guaviare, Putumayo, Meta, Arauca, Orinoco etc., donde además se presentan procesos erosivos en sus curvas exteriores que han generado taludes verticales con presencia de cárcavas que amenazan la infraestructura instalada en sus orillas.

En la evaluación de obras de protección requeridas se presenta una tipología de obras de estabilización de orillas conformadas por geoestructuras y adicionalmente trinchos para recuperación de las cárcavas generadas en este proceso, para lo cual en su diseño se consideraron caudales característicos, fluctuación de niveles, magnitud de velocidades, esfuerzos cortantes, procesos geomorfológicos y características geotécnicas del material del talud.

**Palabras clave:** erosión; geoestructuras; trinchos.

### Abstract

A large number of Colombian municipalities have been founded along rivers, considering their fluvial communication through hundreds of navigable kilometers, such as the Magdalena, Cauca, Atrato, San Juan, Baudó, Guaviare, Putumayo, Meta, Arauca, Orinoco rivers etc., where there are also erosive processes in its outer curves that have generated vertical slopes with the presence of gullies that threaten the infrastructure installed on its banks.

In the evaluation of required protection works, a typology of works of stabilization of banks conformed by Geostructures and additionally Trinchos is presented for recovery of the gullies generated in this process, for which in its design were considered characteristic flows, fluctuation of levels, Magnitudes of speeds, shear stresses, geomorphological processes and geotechnical characteristics of the slope material.

**Keywords:** erosion; Geostructures; Trinchos

---

<sup>1</sup> Profesor de planta de la Universidad Distrital FJC. Ingeniero Civil, Master of Science en "Construcción Hidráulica" Universidad de la Amistad de los Pueblos (Moscú, Rusia). Correo electrónico: donaranjol@udistrital.edu.co.

## Introducción

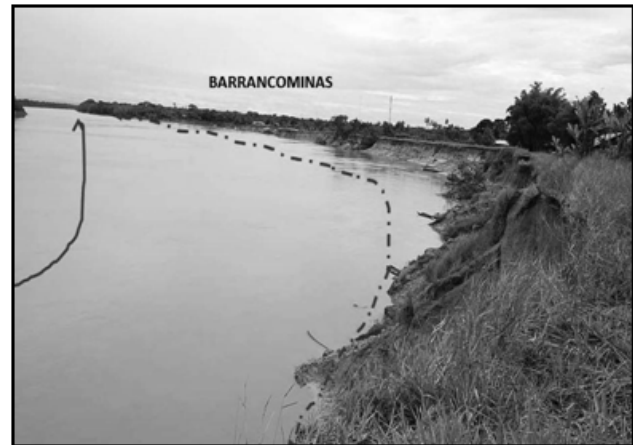
Durante el proceso erosivo, el flujo remueve y arrastra las partículas del estrato de depósitos cuaternarios arenosos sin consolidación sobre el cual se localizan los estratos del nivel superior conformados por depósitos aluviales con arcillas orgánicas y depósitos de suelos, los cuales se desploman en bloques generan taludes con alta inclinación que el río desestabiliza con la remoción continua en periodos de aguas medias y bajas. Los bloques de materiales aluviales se concentran en la pata del talud hasta que son arrastrados por la corriente, así mismo en algunos sectores se aprecian cárcavas como resultado del desprendimiento de todo el frente del talud en algunas secciones a manera de retroceso de orilla y el ciclo erosivo vuelve a repetirse.

En este trabajo se mencionan dos casos donde se presentan estos procesos erosivos, el primero en la orilla derecha del río Guaviare en el corregimiento de Barrancominas en el departamento del Guainía, donde se ha generado una desconformación progresiva en el talud por la presencia de un estrato arenoso como sector de falla que es atacado por las velocidades y las fuerzas tractivas desarrolladas en el paso del río Guaviare por esta población, el segundo en la orilla derecha de la quebrada La Presidenta, sector del Centro Comercial La Plaza Rosa en la Kr 33 con Cll 8en la zona urbana del municipio de Medellín, en un tramo donde se localiza una baranda peatonal con alto riesgo de colapso del andén y de la calle aledaña.

Se presenta la metodología de diseño de obras de protección y encauzamiento considerando la utilización de geoestructuras, así como también resultados del monitoreo de las obras construídas.



**Figura 1.-** Taludes Erosionados en margen derecha



**Figura 2.-** Vista de la orilla perdida por la erosión



**Figura 3.-** Talud Erosionado en margen derecha

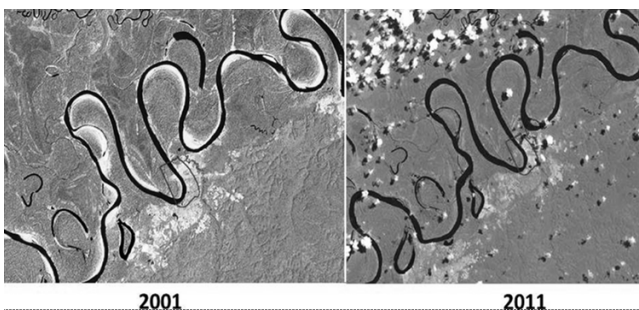


**Figura 4.-** Localización Quebrada La Presidenta

**Metodología** Para el diseño de obras de protección se desarrollaron los siguientes estudios: geomorfológico y de dinámica fluvial, geotécnico, hidrológico, hidráulico y de erosión y socavación, así mismo, se consideró la información de geotecnia y suelos adelantados en estudios anteriores.

### Estudio geomorfológico

En el primer caso se adelantó un análisis de las imágenes satelitales que representa los procesos morfodinámicos más recientes asociados a la migración del canal principal, donde se delinea la posición migrante del río por la presencia de la faja de meandros activa. La dinámica fluvial histórica multitemporal se realizó a partir de un análisis con imágenes satelitales Landsat de los años 1987, 2001, 2006 (Google Earth) y 2011.



**Figura 5.-** Análisis multitemporal años 2001-2011 - Fuente:Landsat.

En 2001, en el tramo de estudio se observó un alineamiento más recto del cauce principal, lo que ha generado un incremento de velocidad del cauce por el canal principal y por ende en el aumento de erosión lateral. La imagen de 2011 muestra la tendencia del tramo en curvarse más sobre la orilla derecha, causado por la socavación a que han sido sometidos los materiales cuaternarios superiores, con desplomes de bloques, carcavamiento y disección de la plataforma cuaternaria donde está la población, así como un notorio cambio en las dimensiones de los meandros aguas abajo, presentando una tendencia moderada a avanzar sobre los depósitos cuaternarios con la consiguiente socavación en la cabecera de la pista (ver figura 5).

Para el segundo caso se consideró innecesaria la realización de un análisis de las imágenes satelitales que caractericen los procesos morfodinámicos, debido a que la intervención antrópica relacionada con el desarrollo urbano de la zona de El poblado estableció un corredor fluvial por el cual no se han presentado variaciones morfológicas y de dinámica fluvial que hayan influido en los procesos detectados.

### Estudio geotécnico

En el primer caso la descripción litológica destaca claramente los tres principales niveles estratigráficos que caracterizan el proceso a lo largo de la margen: depósito de suelos arenosos con poca materia orgánica y espesor de 50 cm, depósitos aluviales cuaternarios de 3 m conformados por arcillas limosas con enriquecimiento de materia orgánica, depósitos cuaternarios arenosos sin consolidación que representan el límite de erosión principal sobre el cual se presentan los desplomes de los bloques del nivel superior y arcillas terciarias amazónicas de 4 m ya consolidados desde hace 30 millones de

años, como nivel de estabilidad de la orilla.

En el segundo caso se realizó la evaluación geotécnica de los taludes expuestos a través de un sondeo exploratorio corto con un Equipo de perforación manual y tubo saca-muestras Split-Spoon, y así mismo una trinchera exploratoria en la superficie del talud erosionado por obtención de muestras representativas y toma de datos de resistencia en campo, ambos con sus respectivos ensayos de laboratorio.

Se pudo establecer la erosión del talud en los estratos limo-arenosos de grano fino de consistencia media a medianamente firme y gravas medias a finas que se identificaron en el talud expuesto de la margen derecha de la quebrada, el cual presenta pendiente vertical y también negativa por debajo de la banca de la vía, donde se observa pérdida de apoyo del andén perimetral.

### Estudio hidrológico

En el primer caso para el análisis de caudales máximos se consideraron los registros históricos de la estación limnimétrica Pueblo Nuevo de la serie 1992-2010, localizada aguas arriba del proyecto. La probabilidad de ocurrencia de los caudales máximos anuales registrados en la estación Pueblo Nuevo del Ideampara los años con registros completos y los involucrados incompletos según criterios descritos fue evaluada por diversas metodologías adecuadas para valores extremos tales como: Normal, Log-Normal 2, Log-Normal 3, Tipo 1 Extrema (Gumbel), Pearson Tipo 3 y Log-Pearson 3, utilizando el modelo de Frequency and Risk Analyses in Hydrology de G.W. Kite del WaterResources.

El análisis se efectuó tanto por el método de momentos como por el de máxima verosimilitud,

según el mínimo error estándar de las pruebas estadísticas, con base en el test de Kolmogorov-Smirnov y con un nivel de significancia del 95 %; siendo la distribución de mejor ajuste por el método de los momentos Gumbel. Los caudales máximos ajustados según el criterio de Fullerse presentan en la tabla 1:

**Tabla 1.** Caudales máximos ajustados a instantáneos ( $m^3/s$ ). Período 1992-2010

ÁREA ( $Km^2$ )	PERÍODO DE RETORNO (años)					
	2.33	5	10	20	50	100
64,830	7,112	7,671	8,001	8,284	8,614	8,841

Fuente: Autor

En el segundo caso se efectuó el análisis prioritariamente por relaciones lluvia-escorrentía mediante la conversión de las precipitaciones máximas ponderadas en la cuenca a hietogramas, según el método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS y su integración con las características físicas y morfométricas de la cuenca, involucradas en el hidrograma unitario.

Se generaron los hidrogramas totales esperados para las crecientes de diversos periodos de retorno, con la ayuda del Modelo Hec HMS V3.5, del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, adicionalmente, los caudales máximos se hallaron por el Método Racional adecuado para cuencas con áreas hasta de  $1 km^2$

Se obtuvieron los caudales máximos para diferentes períodos de retorno.

**Tabla 2.** Caudales Máximos en la Cuenca Q. La Presidenta Sector Plaza Rosa, según el modelo HEC HMS V3.5

Hum Ant.	Período de retorno (años)						
	2.33	5	10	20	25	50	100
HAN	5.7	7.7	9.2	10.5	10.8	12.3	13.6
HAH	14.7	19.4	22.7	25.7	26.4	29.6	32.4

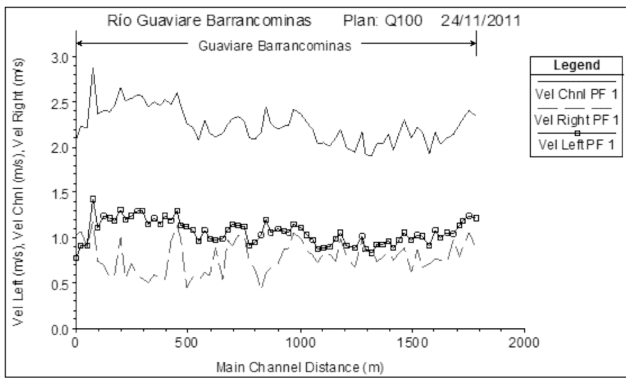
Fuente: Autor



### Modelación hidráulica

En ambos casos para hallar los parámetros de dinámica fluvial se utilizó el Modelo Matemático denominado HEC-RAS del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos Versión 4.1, utilizando las secciones transversales al cauce previamente seleccionadas y el caudal máximo calculado de 100 años de retorno en el estudio hidrológico. Los resultados de la modelación hidráulica en el primer caso para el caudal máximo de 100 años, esfuerzos cortantes y velocidades de flujo del primer caso se presentan en las figuras 6 y 7.

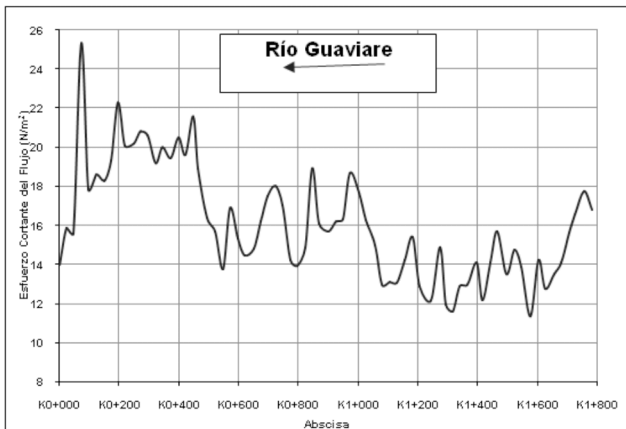
**Figura 6.** Velocidades del Flujo para el Caudal Máximo de 100 años



Fuente: Autor

**Figura 7.** Esfuerzo Cortante del Flujo para el Caudal Máximo de 100 Años

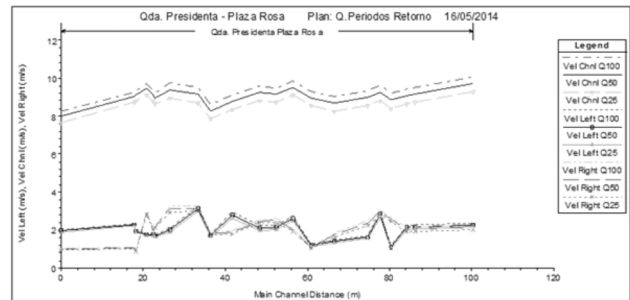
(Incrementado en 30% por la Sinuosidad del Cauce)



Fuente: Autor

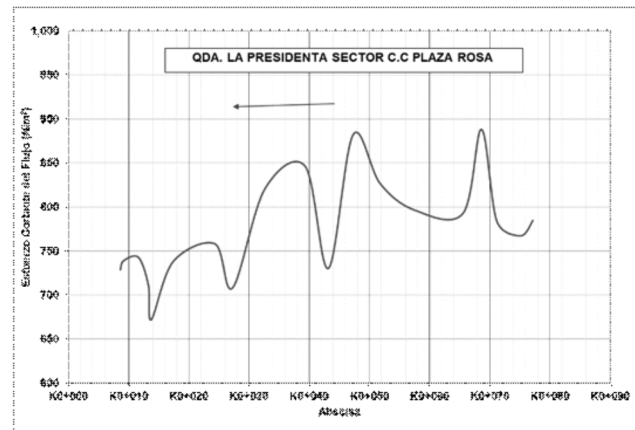
Los resultados de la modelación hidráulica en el segundo caso para el caudal máximo de 100 años, esfuerzos cortantes y velocidades de flujo se presentan en las figuras 8 y 9.

**Figura 8.-** Velocidades del flujo en el lecho y paredes de la quebrada La Presidenta Sector C.C Plaza Rosa durante las Crecientes de 25, 50 y 100 años



Fuente: Autor

**Figura 9.-** Esfuerzos Cortantes del Flujo en el lecho de la quebrada La Presidenta Sector C.C Plaza Rosa durante la Creciente de 100 años de retorno



Fuente: Autor

### Estudios de erosión y socavación

En el primer caso para hallar la magnitud y características de las geo estructuras a partir del comportamiento de la dinámica del flujo durante la ocurrencia de crecientes máximas en el río Guaviare, se evaluaron los métodos de la fuerza tractiva permisible y velocidades máximas con base en los resultados de la caracterización

hidráulica del Modelo HEC-RAS en las secciones transversales donde están previstas las obras de protección, principalmente los parámetros dinámicos y los esfuerzos actuantes del flujo tanto en el lecho como en las márgenes, de esta forma se consideraron los esfuerzos y velocidades críticas o admisibles por la geo estructura.

**Tabla 3.** Esfuerzos cortantes críticos para geo estructuras y gaviones

Tipo	Espesor [m]	Piedras de relleno		τ de arrastre		
		Dimensiones [mm]	d <sub>50</sub> [m]	Critica [N/m <sup>2</sup> ]	Experimental [N/m <sup>2</sup> ]	Maxima admisit [N/m <sup>2</sup> ]
Colchón Reno®	0.17	70 a 100	0.085	136.00	155.00	163.20
		70 a 150	0.110	176.00	200.00	211.20
	0.23	70 a 100	0.085	136.00	155.00	163.20
		70 a 150	0.110	176.00	200.00	211.20
	0.30	70 a 120	0.100	160.00	175.00	192.00
		100 a 150	0.125	200.00	230.00	240.00
Gavión caja	0.50	100 a 200	0.150	240.00	280.00	288.00
		120 a 250	0.190	304.00	370.00	364.80

Fuente: Autor

**Tabla 4.** Velocidad crítica y límite para geo estructuras y gaviones

Tipo	Espesor [m]	Piedras de relleno		Velocidad crítica [m/s]	Velocidad límite [m/s]
		Dimensiones [mm]	d <sub>50</sub> [m]		
Colchón Reno®	0.17	70 a 100	0.085	3.5	4.2
		70 a 150	0.110	3.8	4.5
	0.23	70 a 100	0.085	3.7	4.5
		70 a 150	0.110	4.1	4.9
	0.30	70 a 120	0.100	4.0	4.7
		100 a 150	0.125	4.3	5.0
Gavión caja	0.50	100 a 200	0.150	4.9	5.8
		120 a 250	0.190	5.5	6.4

Fuente: Autor

En el segundo caso se utilizó el método de Lischvan-Levediev para lechos aluviales y un diámetro medio de 3.1 mm, equivalente a grava muy fina para la estimación de las magnitudes de socavación general máxima.

**Tabla 5.** Socavación general máxima de la quebrada la presidenta para la creciente de 100 años. Método de Lischvan-Levedievlecho aluvial

		Coefficiente de Contracción =	1	
		Diámetro medio	3 mm	Cantos pequeños
		Peso Unitario Agua-Sedimento =	1.25 T/m <sup>3</sup>	
			(1.05 a 1.40)	
		Función Agua-Sedimento suspensión $\Psi^*$	1.35	
		Período de Retorno =	100 años	
		Parámetro función del diámetro X =	0.37	
		Valor función probabilidad del Caudal $\beta$ =	1	
Abscisa	Sección Hec Ras	Coefficiente de distribución del caudal $\alpha'$	Profundidad de Socavación General bajo el lecho (m)	Cota Socavación (msnm)
K0+081	24	9.96	4.13	1590.20
	23	Bridge		
K0+077	22	9.04	3.99	1590.34
K0+075	21	8.85	3.95	1590.28
K0+071	20	9.99	3.31	1590.96
K0+069	19	10.70	2.83	1591.09
K0+066	18	9.89	3.96	1589.41
K0+058	17	10.93	3.31	1589.60
K0+052	16	10.81	3.90	1587.99
K0+047	15	10.38	3.71	1587.38
K0+043	14	7.53	4.48	1586.23
K0+039	13	10.75	4.33	1586.18
K0+033	12	11.02	3.48	1586.75
K0+027	11	10.16	3.23	1586.68
K0+024	10	6.95	3.09	1586.43
K0+017	9	5.86	4.15	1584.37
K0+014	8	6.93	4.06	1584.05
K0+013	7	7.61	3.79	1584.27
K0+012	6	6.52	3.75	1584.16
K0+009	5	7.97	4.69	1582.78
K0+009	4	7.56	5.26	1582.08
	3	Bridge		
K0+000	2	6.19	4.90	1582.54
Máxima socavación del tramo			5.26	1582.08

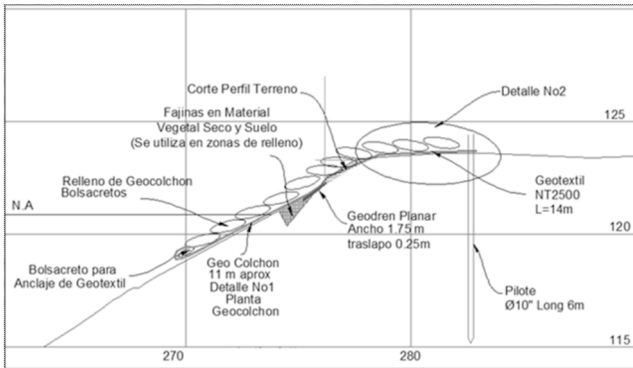
Fuente: Autor

## Obras de protección

En el primer caso, para el diseño de las obras de protección se consideraron las variables requeridas: caudales característicos, fluctuación de niveles, magnitud de velocidades, procesos geomorfológicos, esfuerzos cortantes y características geotécnicas del talud. Se evaluó una alternativa con base en obras de estabilización marginal conformadas por geoestructuras.

De acuerdo con los análisis realizados, se diseñó una geo estructura de estabilización marginal tendida sobre un talud previamente perfilado con una pendiente 2:1, conformada por un geocolchón de malla uniaxial relleno con bolsacretos, apoyada

sobre un geotextil con un geodréncular y colgada de una tubería metálica debidamente cimentada sobre una cortina marginal de pilotes metálicos a lo largo de la margen, asimismo se recomendó la consolidación del talud con la instalación de fajas de material vegetal (ver figura 10).



**Figura 10.** Geo estructura diseñada

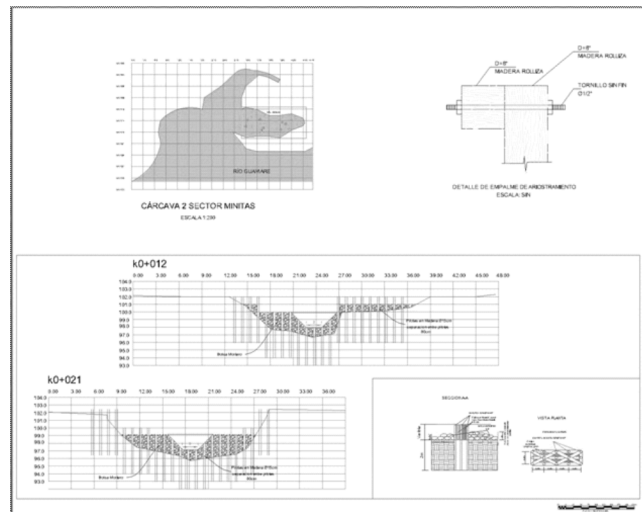
Fuente: Autor

Para la recuperación de las cárcavas se diseñó un sistema de trinchos con pilotes de madera arriostrados y material vegetal de especies nativas. El objetivo principal de la protección es retener en su interior los sedimentos que ingresan desde la orilla hacia la cárcava especialmente en periodos de aguas altas generando una zona de sedimentación que permita restaurar las zonas afectadas (ver figura 11).

Para el segundo caso la obra de restitución diseñada en el Talud para contrarrestar la erosión de la quebrada consta en su parte inferior de un lecho filtrante de bloques y gravas muy gruesas, de altura 2.0 m envueltas con una Hidromalla Geostera G50 para evitar su desconfiamiento y pérdida de material granular(ver figuras 12 y 13).

De la parte media hasta el andén y rasante de la vía que bordea el talud se proyecta la construcción de un muro en suelo reforzado de altura 3.0 m, conformado por Geomalla para refuerzo Fortgrid UX50, Geotextil tejido Fortex BX40,

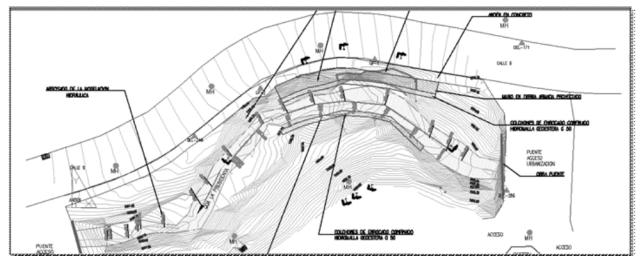
recubrimiento exterior con Terratrac TRM50, y Filtro interior Geodréncular Permadrain formando un bloque autosoportado, con pendiente externa de 70 grados aproximadamente y lloraderos en su masa granular confinada, así mismo se espera que en el nivel inferior el enrocado se comporte como dissipador hidráulico para protección contra la erosión.



**Figura 11.** Trinchos conformados con pilotes y material vegetal

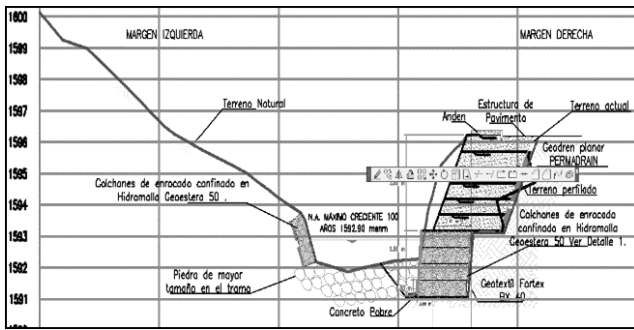
Fuente: Autor

Finalmente se definió la restitución del andén y parte del pavimento de la vía, retirados previamente por las excavaciones requeridas para la colocación del lecho filtrante y el muro en suelo reforzado.



**Figura 12.** Sector de diseños en la quebrada La Presidenta

Fuente: Autor



**Figura 13.-** Sección Transversal Obras de Protección diseñadas

Fuente: Autor

### Monitoreo

Se hizo una visita de monitoreo a las obras de estabilización marginal construidas en Barrancominas, en la obra se observó la efectividad de la protección longitudinal construida con geoestructuras donde se observaron las fajas aun en buen estado al igual que los geocolchones instalados y demás componentes del sistema (ver figuras 14 y 15), de igual manera se apreciaron los trinchos construidos (ver figuras 16 y 17).



**Figura 14.** Taludes recubiertos con geoestructuras



**Figura 15.** Colocación de Geoestructuras



**Figura 16.** Trinchos construidos



**Figura 17.** Conformación de Trinchos  
Fuente: Autor



No se realizó visita a las obras de protección en la quebrada La Presidenta ya que estas aún no se han construido.

## Conclusiones

Las geoestructuras demostraron su eficiencia para controlar la fuga de los materiales arenosos en los taludes, evitando el desplome de los bloques del nivel superior, así como su condición para contrarrestar las fuerzas tractivas erosivas del río Guaviare en la población de Barrancominas. Los trinchos conformados cumplieron su función de estabilización de las cárcavas y recuperación de estas a manera de trampas de sedimentos especialmente en el escenario de máximos caudales y niveles.

El proyecto de obras de protección marginal en la quebrada La Presidenta consideró el reemplazo de la solución tradicional de muros de protección en concreto por la utilización de estructuras blandas hechas con tierra armada, geoestructuras, geotextiles y geodrenes, las cuales fueron concebidas para que se acomoden tanto al lecho de la quebrada como a la morfología de las orillas con el objetivo principal que se fusionen con el entorno ambiental natural.

Las alternativas ambientales frente a las alternativas tradicionales plantean una restauración ecológica en el contexto del desarrollo sostenible de los ecosistemas con el mínimo de impactos negativos.

El sistema propuesto establece la reconfiguración del talud fallado asegurando mayor estabilidad.

## Referencias

Chow, V.T., Maidment D.R. y Mays L.W.(1994). *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill.Santafé de Bogotá: Editorial Nomos S.A.

Departamento de Ingeniería de Geosistemas PAVCO (2009). *Manual de Diseño Geosintéticos*. Bogotá. Zetta Comunicadores S.A.

Ingeproyect Ltda. (2011). “Estudios y Diseños de Obras de Protección en Barrancominas –Guaviare”. Bogotá

Ingeproyect Ltda. (2014). “Elaboración de Estudios y Diseños de la Solución Hidráulica, Estructural

y Geotécnica en Quebradas de la Ciudad de Medellín y sus Corregimientos en Desarrollo del Presupuesto Participativo Intervención Quebradas, Grupo 2 Quebrada La Presidenta Sector C.C La Plaza Rosa Cra 33 Con Cll 8”. Bogotá

Martin Vide, J.P. (2002). *Hidráulica de Ríos*. España: Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña.