

**La minería aurífera sostenible**

**Análisis preliminar del sistema fluvial del Río Nechí, Colombia**

Rios, uan Daniel; Mosselman, Erik

**Publication date**

2018

**Document Version**

Accepted author manuscript

**Published in**

Proceedings XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR & AIH

**Citation (APA)**

Rios, U. D., & Mosselman, E. (2018). La minería aurífera sostenible: Análisis preliminar del sistema fluvial del Río Nechí, Colombia. In *Proceedings XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR & AIH: Buenos Aires, Argentina, September 2018* (pp. 1974-1982)

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).  
Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.  
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**LA MINERÍA AURÍFERA SOSTENIBLE: ANÁLISIS PRELIMINAR DEL  
SISTEMA FLUVIAL DEL RÍO NECHÍ, COLOMBIA**

**Juan Daniel Ríos<sup>a</sup> y Erik Mosselman<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Universidad Nacional de Colombia y Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia,  
judriosar@unal.edu.co*

<sup>b</sup> *Deltares y Delft University of Technology, Países Bajos, erik.mosselman@deltares.nl*

**RESUMEN:**

El presente trabajo se enfoca en el análisis preliminar del sistema fluvial del río Nechí para la identificación y análisis de forzadores, como paso previo al desarrollo de investigación y herramientas que permitan una evaluación sistemática del proceso de extracción de oro aluvial y su relación con la dinámica fluvial, con énfasis en la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos agua y suelo. Se identificaron las tendencias en los patrones de erosión y sedimentación a lo largo del río Nechí como resultado de los posibles forzadores de la dinámica fluvial mediante un análisis de la relación entre los caudales y los niveles de agua en las secciones transversales donde se localizan las estaciones hidrométricas (“curva nivel-caudal”) y se presentan gráficas del desarrollo en el tiempo de los niveles de agua para ciertos caudales seleccionados, obteniendo para la estación San Juan (N1) ubicada sobre el río Nechí que para los periodos 1985-1989 a 2000-2004 se presentan niveles de flujo bajos para caudales menores, asociable a un posible proceso continuo de degradación del canal principal. El análisis específico de la estación El Retiro (N2) ubicada sobre el río Tigui exhibe más o menos un equilibrio dinámico en los niveles de flujo para la gran mayoría de los caudales seleccionados a partir del periodo 1996-2000.

**ABSTRACT:**

The present work focuses on a preliminary analysis of the fluvial system of the río Nechí in order to identify and analyze the external forcing factors, as a first step towards developing research and tools that allow systematic analysis of the process of alluvial gold extraction and its relation with fluvial dynamics, with an emphasis on sustainability and efficient use of water and soil resources. We identified trends in patterns of erosion and sedimentation along the río Nechí as a result of possible forcing factors of fluvial dynamics by means of an analysis of the stage-discharge relations in cross-sections at hydrometric stations (“discharge rating curves”). We present graphs of the development in time of water levels for selected discharges. We thus obtained for the San Juan station (N1) on the río Nechí that in the periods 1985-1989 to 2000-2004 low flow levels are presented for lower discharges, associated to a possible continuous process of degradation of the main channel. The specific gauge analysis of the El Retiro station (N2) located on the Tigui river exhibits more or less a dynamic equilibrium in the flow levels for the great majority of the flows selected from the 1996-2000 period.

**PALABRAS CLAVES:** Río Nechí; minería aurífera; dinámica fluvial

## INTRODUCCIÓN

El reciente auge de la explotación de oro de aluvión en el territorio colombiano posiblemente asociado al aumento en los precios del mineral ha traído consigo la proliferación de la minería informal, la pérdida de coberturas vegetales (Figura 1 izquierda), la afectación de ecosistemas estratégicos para el país y la degradación de extensas áreas del territorio colombiano como lo reportan el Gobierno de Colombia y UNODC (2016).

Por otro lado, según la información publicada por la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME), la participación de la explotación de minas y canteras en el producto interno bruto de la nación es innegable, presentando un crecimiento promedio del sector de 9.3% para el periodo comprendido entre el año 2009 y 2013 (UPME, 2014), que en comparación con otros sectores de la economía es el mayor.

Este panorama permite identificar que las compañías mineras (Figura 1 derecha) requieren el desarrollo de programas y herramientas que permitan la planeación y la operación de la explotación bajo un modelo de sostenibilidad en línea con los objetivos de desarrollo sostenible puestos en marcha en enero de 2016 y que orientarán las políticas y la financiación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) durante los próximos 15 años (PNUD, 2018).

El presente trabajo se enfoca en el análisis preliminar del sistema fluvial del río Nechí para la definición y análisis de forzadores como paso previo al desarrollo de investigación y herramientas que permitan una evaluación sistemática del proceso de extracción de oro aluvial y su relación con la dinámica fluvial, con énfasis en la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos agua y suelo.

## ZONA DE ESTUDIO Y CONJUNTO DE DATOS

Para el desarrollo de esta investigación nosotros seleccionamos como caso de estudio el sistema fluvial del río Nechí que se encuentra localizado en el noroccidente de Colombia (Figura 2 izquierda) y tributa sus aguas y sedimentos al río Cauca, uno de los dos principales drenajes colombianos en la cuenca Caribe. El paisaje típico del amplio valle aluvial del río Nechí incluye canales, ciénagas y terrazas con un régimen de inundación natural asociado con las temporadas húmedas (Díaz, 2013). En esta zona conocida como el Bajo Cauca Antioqueño históricamente se ha realizado explotación o minería aurífera (Figura 1 derecha) como reportan Herrera et al. (2009), en especial, en los depósitos aluviales de oro (o placer gold deposits como se conocen en inglés).



**Figura 1.-** Zonas mineras abandonadas y minería aurífera aluvial en cercanía de El Bagre (Antioquia), fotografías de Erik Mosselman.

De los yacimientos existentes en Colombia que se han explotado desde principios del siglo XX, el depósito aluvial localizado en el valle del río Nechí (Figura 2 derecha) es el más importante

(Grupo Mineros S.A., 2014), por tanto, por varias décadas se han localizado allí dos grandes compañías mineras legales The Pato Gold Mines y Mineros de Antioquia S.A. ahora Mineros S.A.

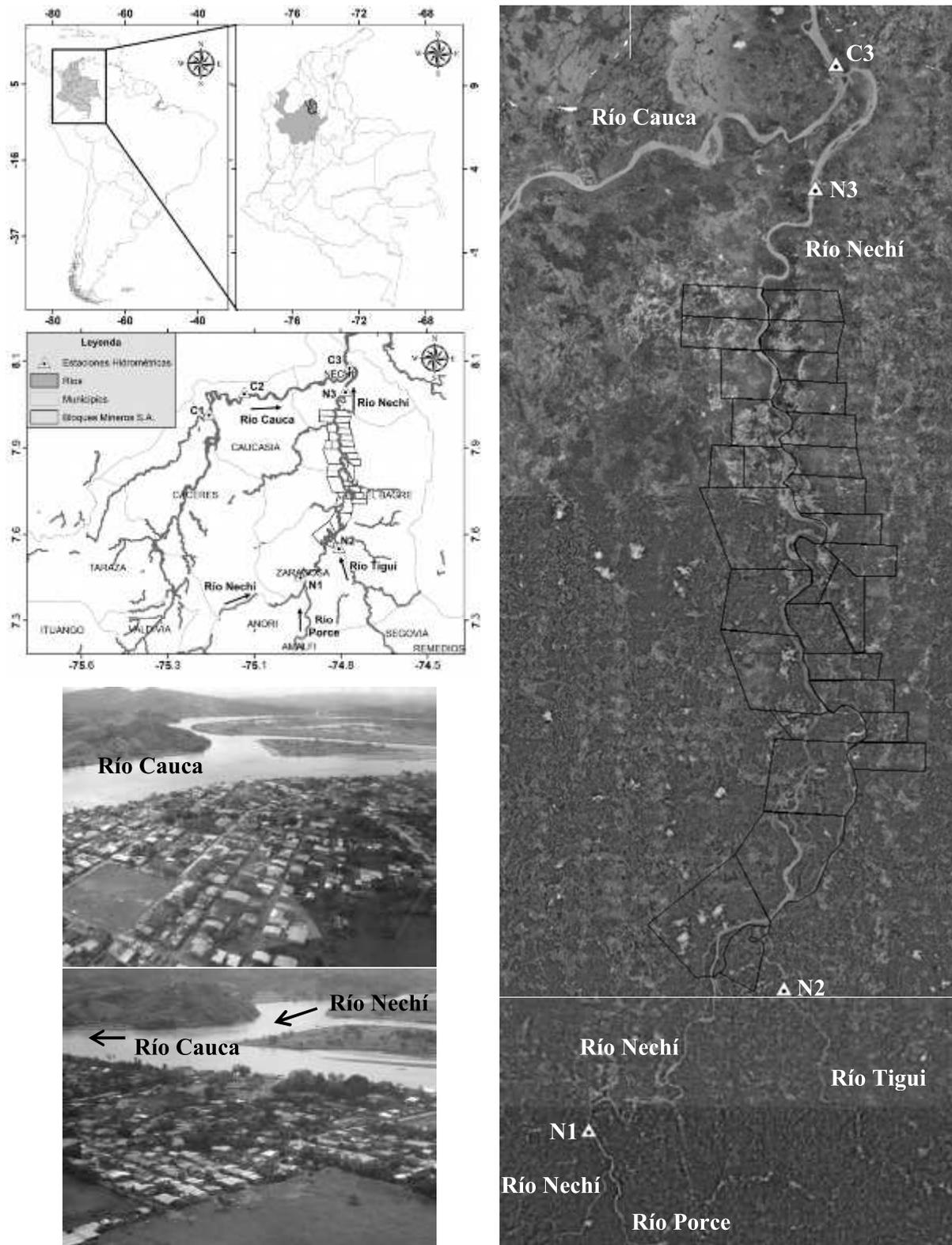


Figura 2.- Localización de la zona de estudio.

Dentro del tramo de interés en el sistema fluvial del río Nechí existen tres estaciones hidrométricas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), donde se recolectan datos de caudal, nivel, variaciones de la sección transversal entre otros (Tabla 1).

**Tabla 1.- Estaciones hidrométricas disponibles**

CÓDIGO	NOMBRE	CORRIENTE	LATITUD [°]	LONGITUD [°]	ELEVACION [m]
27037030	San Juan-N1	Nechí	7.475	-74.920	180
27037020	El Retiro-N2	Tigui	7.561	-74.805	105
27037010	La Esperanza-N3	Nechí	8.031	-74.785	33

En la zona de estudio opera la compañía Mineros de Antioquia S.A. ahora Mineros S.A. cuyo expediente ambiental obrante en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales de Colombia (ANLA) es el correspondiente al LAM0806 - Plan de Manejo Ambiental para el desarrollo del proyecto denominado "Explotación Aurífera en la Cuenca del Río Nechí" en jurisdicción de los municipios de El Bage, Zaragoza, Cauca y Nechí.

Mineros S.A. realiza el proceso de dragado en dos fases: La primera es a través de dragas de succión (Figura 3 izquierda) que remueven los limos, arcillas y arenas que no contienen oro y se encuentran hasta los 18 metros de profundidad aproximadamente, siendo depositadas en zonas para su acondicionamiento y control formando así los rellenos hidráulicos. La segunda fase es realizada por dragas de cucharas (Figura 3 derecha) cuya función es extraer gravas, arenas y arcillas en profundidad de hasta 30 metros aproximadamente, posteriormente, el material extraído es separado al interior de la draga por medio de procesos gravimétricos de peso y tamaño sin la utilización de mercurio o algún agente químico.

Como resultado del proceso se generan montículos de limos, arcillas, arenas y gravas que se denominan cargueros (Figura 4) que ayudan al confinamiento de los rellenos hidráulicos generados con las dragas de succión. Una vez termina el proceso de intervención la unidad de producción se traslada a una nueva área de operación dejando los cargueros, rellenos hidráulicos y cuerpos de agua sobre los cuales se da inicio al restablecimiento de nuevos ecosistemas mediante la siembra de árboles de diferentes especies como bosques protector productor y la implementación de parcelas agroforestales (plátano, yuca, hortalizas, maíz y arroz), además de árboles frutales entre otros (Grupo Mineros S.A., 2014).



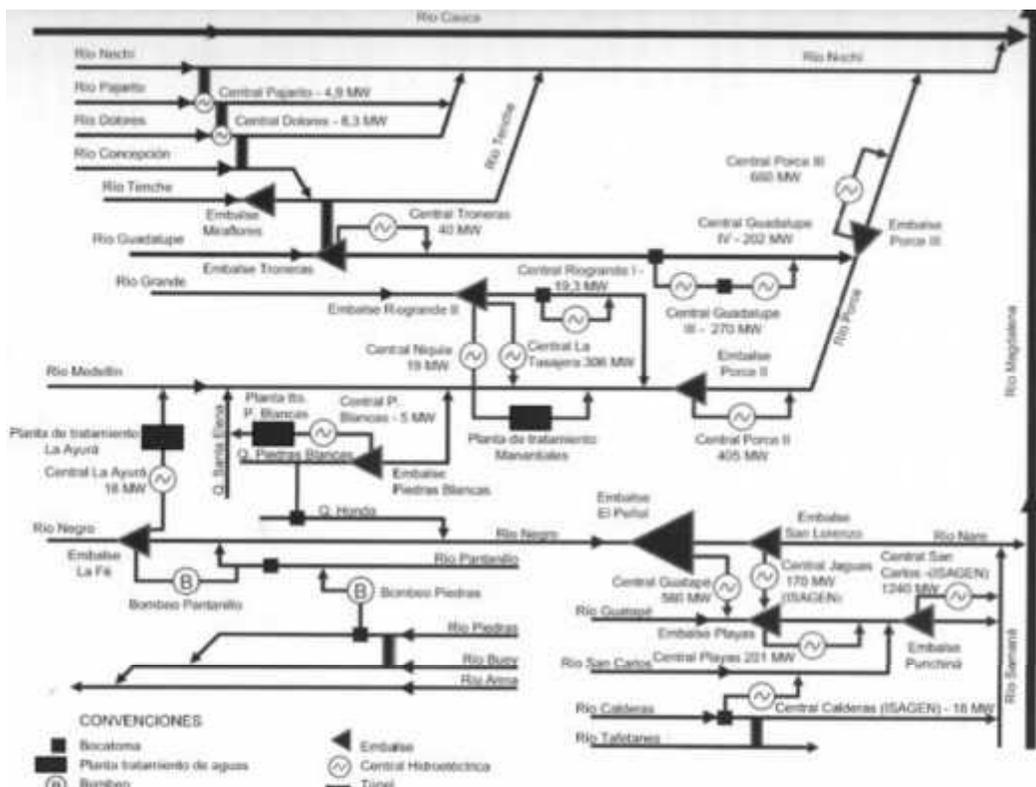
**Figura 3.-** Draga de succión y draga de cucharas en la zona de estudio. Recuperado de <http://www.latinomineria.com/2017/01/19/mineros-sa-hay-que-tener-leyes-claras-para-inversionistas/> y de [https://www.flickr.com/photos/mineros\\_sa/5884445963](https://www.flickr.com/photos/mineros_sa/5884445963).



**Figura 4.-** Aspecto de los cargueros. Recuperado de <http://www.mineros.com.co/es/operaciones/operacion-aluvial> y de <http://elbagre-antioquia.blogspot.com/2006/10/presentacinmi-nombre-es-ana-celina.html>.

## METODOLOGÍA

En primer lugar se realizó una identificación y análisis exhaustivo de los posibles forzadores de la dinámica fluvial, encontrándose que la dinámica del sistema fluvial del río Nechí está influenciada por la regulación de diferentes proyectos hidroeléctricos ubicados aguas arriba (Figura 5), entre ellos: 1) la cadena hidráulica del río Porce que incluye los proyectos Porce II (construido entre 1994 y 2001) y Porce III (construido entre 2006 y 2010) y 2) la cadena hidráulica del río Guadalupe que incluye los proyectos Guadalupe I (operando desde 1932), Guadalupe II (operando desde 1949), Troneras (construido entre 1960 y 1962), Miraflores (construido entre 1962 y 1965), Guadalupe III (terminado en 1962) y Guadalupe IV (terminado en 1985), además de múltiples trasvases entre subcuencas de la cuenca del río Nechí. Todos estos proyectos son operados por el Grupo EPM, el cual es considerado el mayor generador de energía eléctrica del país.

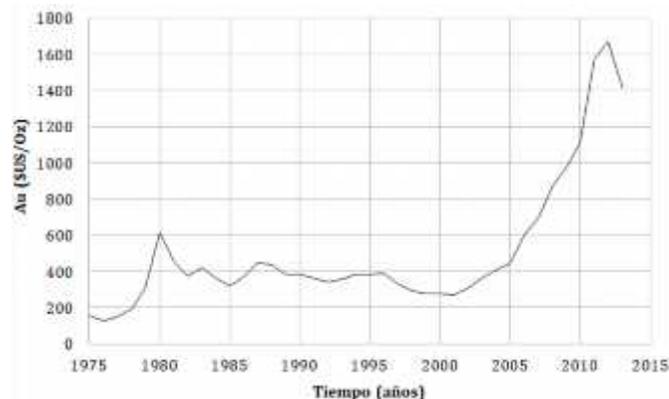


**Figura 5.-** Cadenas hidráulicas de generación de energía eléctrica en Antioquia (EPM, 2008).

En segundo lugar se identificaron las tendencias en los patrones de erosión y sedimentación a lo largo del río Nechí como resultado de los posibles forzadores de la dinámica fluvial mediante un análisis de la relación entre los caudales y los niveles de agua en las secciones transversales donde se localizan las estaciones hidrométricas (“curva nivel-caudal”) y se presentan gráficas del desarrollo en el tiempo de los niveles de agua para ciertos caudales seleccionados, obteniendo el denominado “análisis específico de la estación” el cual es bastante útil en ausencia de estudios batimétricos detallados como sugieren Mosselman et al. (2012) y puede indicar tendencias en la etapa de aumento o disminución del lecho para un caudal específico pero no proporciona directamente relaciones causa-efecto para las tendencias observadas como sugiere Watson (2010). Posteriormente, se realizó un análisis hidrogeomorfológico de las secciones transversales donde se localizan las estaciones hidrométricas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) dentro de la zona de estudio (Figura 2).

Adicionalmente, se revisó y analizó la información pública del expediente ambiental LAM0806 correspondiente al Plan de Manejo Ambiental para el desarrollo del proyecto denominado "Explotación Aurífera en la Cuenca del Río Nechí" en jurisdicción de los municipios de El Bagre, Zaragoza, Cauca y Nechí, obrante en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales de Colombia (ANLA).

Por último, del sitio web <http://www.kitcometals.com/> se verificó la variación histórica del precio medio anual del oro para el período 1975-2013, de lo que se identifica un aumento en el precio anual del oro desde el año 2002 hasta el año 2013 (Figura 6).



**Figura 6.-.** Variación anual del precio de la onza troy de oro.

## RESULTADOS

De los resultados obtenidos en la estación San Juan (N1) ubicada sobre el río Nechí se observa que entre los periodos 1985-1989 a 2000-2004 se presentan niveles de flujo bajos para caudales menores (Figura 7 izquierda), asociable a un posible proceso continuo de degradación del canal principal que a partir del año 2001 pudo ser retroalimentado por el atrapamiento de sedimentos en el embalse del proyecto Porce II (construido entre 1994 y 2001), sin embargo, análisis más detallados deben ser realizados.

Por otro lado, en los niveles de flujo para caudales altos o niveles de inundación (Figura 7 izquierda), se observa un marcado incremento entre los periodos 1995-1999 a 2000-2004, consistente en parte para el periodo 1995-1999 con la sedimentación de la llanura de inundación producto de los aportes de las cuencas erosionadas en el Altiplano de Carolina del Príncipe y entregadas al río Porce por el río Guadalupe después de atravesar la cadena hidráulica del río Guadalupe donde el embalse de Troneras ha presentado problemas importantes de sedimentación (Figura 8). Durante el periodo 2000-2004 el aumento en los niveles de flujo para caudales altos o niveles de inundación al parecer podría estar relacionado con la entrada en operación del proyecto Porce II y la descarga del caudal turbinado, situación que hasta el momento requiere de mayores

análisis. Sin embargo, es debido resaltar que las tendencias en los niveles de flujo para caudales altos (de inundación) y para caudales bajos se revirtieron después de 2004.

Del análisis de la sección de aforo (Figura 7 derecha) y el aumento en los precios del oro (Figura 6), se observa que entre los años 2010 y 2013 se ha producido un proceso importante de agradación o sedimentación del canal principal posiblemente atribuible a la minera informal dado que el aporte natural de gran parte de la cuenca fue regulado por los proyectos hidroeléctricos Porce II hacia el año 2001 y Porce III hacia el año 2010 cuando entró en operación cada uno respectivamente. Sin embargo, consideramos que estos hallazgos son preliminares y requieren de mayores análisis.

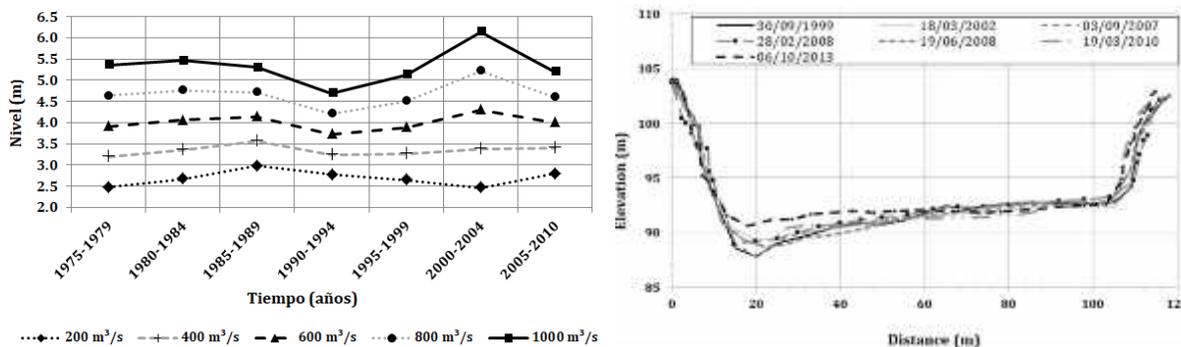


Figura 7.- Análisis específico de la estación San Juan (N1) y variaciones en la sección transversal.



Figura 8.- Problemas de sedimentación en el embalse de Troneras. Fuente:

[http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujocanales/mantenimiento\\_embalses/mantenimiento\\_embalses.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujocanales/mantenimiento_embalses/mantenimiento_embalses.html)

De los resultados obtenidos en la estación El Retiro (N2) ubicada sobre el río Tigui se observa que hasta los años noventa se presentó un marcado proceso erosivo o de degradación del cauce, sin embargo, para los años siguientes se alcanzó más o menos un equilibrio dinámico en los niveles de flujo para la gran mayoría de los caudales seleccionados (Figura 9 izquierda), consistente con la pequeña variación de la morfología de la sección de aforo (Figura 9 derecha).

Por otro lado, para el periodo 1981-1985 no se presentan los niveles de flujo altos (Figura 9 izquierda) debido a que para esa época (Figura 10) en Colombia se presentó una muy fuerte fase caliente (El Niño) del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), por lo cual los caudales del río Tigui registrados en la estación El Retiro (N2) se vieron disminuidos considerablemente y la respectiva curva de calibración de dicha estación para ese periodo solo es válida para caudales bajos.

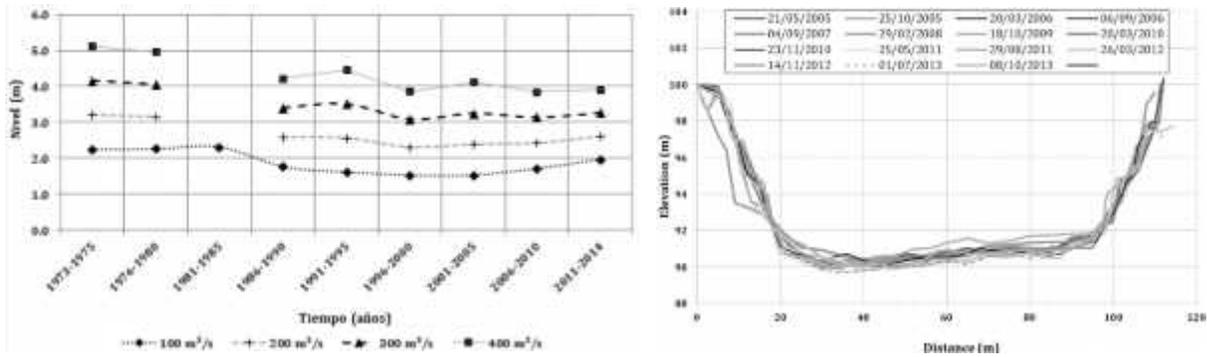


Figura 9.- Análisis específico de la estación El Retiro (N2) y variaciones en la sección transversal.

El Niño				La Niña		
Weak - 10	Moderate - 7	Strong - 5	Very Strong - 3	Weak - 10	Moderate - 4	Strong - 7
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
				2017-18		

Figura 10.- Años El Niño y La Niña y sus intensidades.  
Fuente: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

A la fecha, los análisis de la estación La Esperanza (N3) ubicada sobre el río Nechí aguas abajo del distrito minero del Bajo Cauca Antioqueño se encuentran en ejecución, por tanto, solo se presenta la variación de la morfología de la sección de aforo (Figura 11).

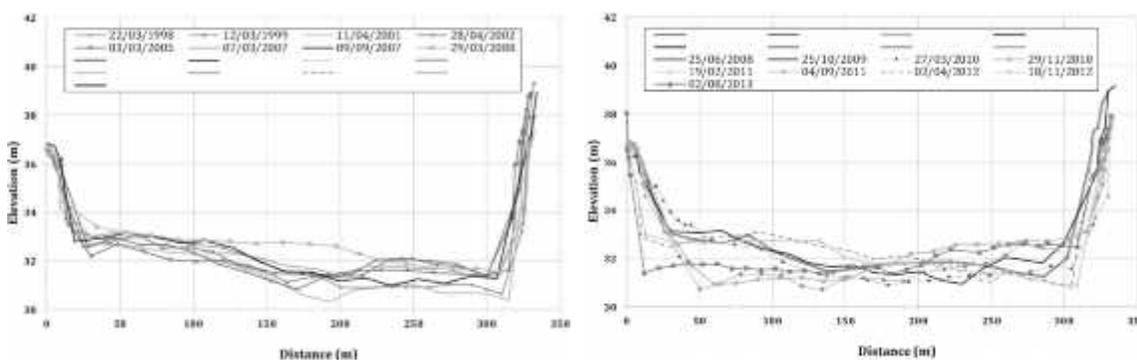


Figura 11.- Variaciones en la sección transversal de la estación La Esperanza (N3).

## CONCLUSIONES

Se observa del análisis específico de la estación San Juan (N1) ubicada sobre el río Nechí que para los periodos 1985-1989 a 2000-2004 se presentan niveles de flujo bajos para caudales menores, asociable a un posible proceso continuo de degradación del canal principal. Por otro lado, en los niveles de flujo para caudales altos o niveles de inundación se observa un marcado

incremento entre los periodos 1995-1999 a 2000-2004 consistente en parte para el periodo 1995-1999 con la sedimentación de la llanura de inundación producto de los aportes de las cuencas erosionadas en el Altiplano de Carolina del Príncipe.

Durante el periodo 2000-2004 el aumento en los niveles de flujo para caudales altos o niveles de inundación al parecer podría estar relacionado con la entrada en operación del proyecto Porce II y la descarga del caudal turbinado, situación que hasta el momento requiere de mayores análisis. Sin embargo, es debido resaltar que las tendencias en los niveles de flujo para caudales altos (de inundación) y para caudales bajos se revirtieron después de 2004.

El análisis específico de la estación El Retiro (N2) ubicada sobre el río Tigui exhibe más o menos un equilibrio dinámico en los niveles de flujo para la gran mayoría de los caudales seleccionados a partir del periodo 1996-2000.

Finalmente, es necesario indicar que actualmente el trabajo está en proceso y se trabaja en pro de incluir más análisis con base a los datos disponibles y a la adquisición de información primaria que está limitada por los recursos del proyecto y el orden público en la zona de estudio, por tanto, se espera presentar durante el congreso en Buenos Aires más adelantos acerca de la investigación como posiblemente la implementación de un modelo numérico que depende exclusivamente de las adquisiciones batimétricas.

## REFERENCIAS

**Díaz, J.** (2013). Modelo sostenible de explotación minera a partir de la evaluación del comportamiento hidrogeomorfológico de una poza de dragado y su recuperación ambiental como futura ciénaga. Universidad Nacional de Colombia.

**EPM.** (2008). Ingeniería de presas en Empresas Públicas de Medellín.

**Gobierno de Colombia, & UNODC.** (2016). "Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota." Retrieved from [https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion\\_de\\_Oro\\_de\\_Aluvion.pdf](https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion_de_Oro_de_Aluvion.pdf)

**Grupo Mineros S.A.** (2014). Operación Aluvial. Retrieved from <http://www.mineros.com.co/es/operaciones/operacion-aluvial>

**Herrera, C., Montoya, J., Ordóñez, O., & Restrepo, J. J.** (2009). "Características de las mineralizaciones vetiformes en el distrito minero Bagre-Nechí, Antioquia." Boletín de Ciencias de La Tierra, 26, 29–38.

**Mosselman, E., Kok, M., Leenen, H., & Van, M.** (2012). Flood risk management for La Mojana. Proceedings NCR Days 2012, Netherlands Centre of River Studies, pp.43-44.

**PNUD.** (2018). Objetivos de desarrollo sostenible. Retrieved from <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

**UPME.** (2014). Indicadores de la minería en Colombia, versión preliminar. Retrieved from [http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Indicadores\\_de\\_la\\_mineria\\_en\\_Colombia.pdf](http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Indicadores_de_la_mineria_en_Colombia.pdf)

**Watson, C.** (2010). Specific gage analyses of stage trends on the middle Mississippi river. In 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1 (p. 12).