



## **RASGOS MORFOLÓGICOS DE ARROYOS EN LA GUAJIRA COLOMBIANA**

**Jose Julián Sánchez González, Lilian Posada García**

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín  
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente – Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos  
[jjsanche@unal.edu.co](mailto:jjsanche@unal.edu.co), [lposada@unal.edu.co](mailto:lposada@unal.edu.co)

### **RESUMEN**

En este trabajo se analizan los rasgos morfológicos característicos de las corrientes naturales tipo arroyo asociados con las características hidráulicas de cauces torrenciales como un primer paso para entender la dinámica geomorfológica de un sistema fluvial controlado por factores hidrológicos de alta variabilidad y características geológicas particulares, que definen un comportamiento hidráulico atípico de la cuenca hidrográfica.

El estudio se desarrolló en el municipio de Hato Nuevo-La Guajira en la región Caribe Colombiana y se llevó a cabo partiendo inspecciones geológicas y geomorfológicas detalladas de la zona, de información levantada en campo en los arroyos de la región (aforos líquidos y sólidos, muestras de sedimentos de fondo, niveles de flujo, geometría de los cauces, etc.), registros pluviométricos de la región, imágenes satelitales y cartografía de la zona. Se encontraron diferencias notables en tres (3) corrientes de la misma cuenca hidrográfica, tipologías variables entre si, factores geomorfológicos de naturaleza disímil.

### **ABSTRACT**

The morphological characteristics of natural streams called “arroyos” were associated with hydraulic characteristics of torrential streams as a guideline to understand the dynamics of a fluvial system controlled by both highly variable hydrological factors and particular geologic characteristics, defining an unusual hydraulic behavior of the watershed.

This study were developed in the municipality of Hato Nuevo - La Guajira, located at the Colombian Caribbean region and was achieved by doing detailed geological and geomorphological inspection of the study area, and using existing rainfall records in the study area, field data obtained directly from the arroyos (sediment samples, flow and sediment measurements, flow levels, channel geometry, etc.), existing maps and analysis of aerial photographs and satellite images. There were found three (3) natural currents of different typology, with geomorphological features of dissimilar nature, pertaining to the same watershed

## **INTRODUCCIÓN**

Los cauces aluviales son sistemas altamente dinámicos y complejos, en los cuales, las características morfológicas están definidas por la interacción entre el régimen de caudales, la carga de sedimentos, la morfometría del canal (pendiente, ancho, profundidad, talud) y la geología del medio por donde discurren.

La complejidad para evaluar los procesos físicos involucrados en los cambios geomorfológicos de una corriente aluvial, ha impedido una correcta cuantificación de los fenómenos involucrados en la evolución y variación del cauce y en la definición de las condiciones bajo las cuales se propician estos cambios. Las modificaciones morfológicas de los arroyos están determinadas por la interacción entre procesos acelerados de degradación del cauce por efecto de precipitación y transporte de sedimento, el suministro disponible de material erodable que puede transportar la corriente, así como por controles geológicos de escala local y regional y la magnitud de caudales extremos que ocurran en la cuenca.

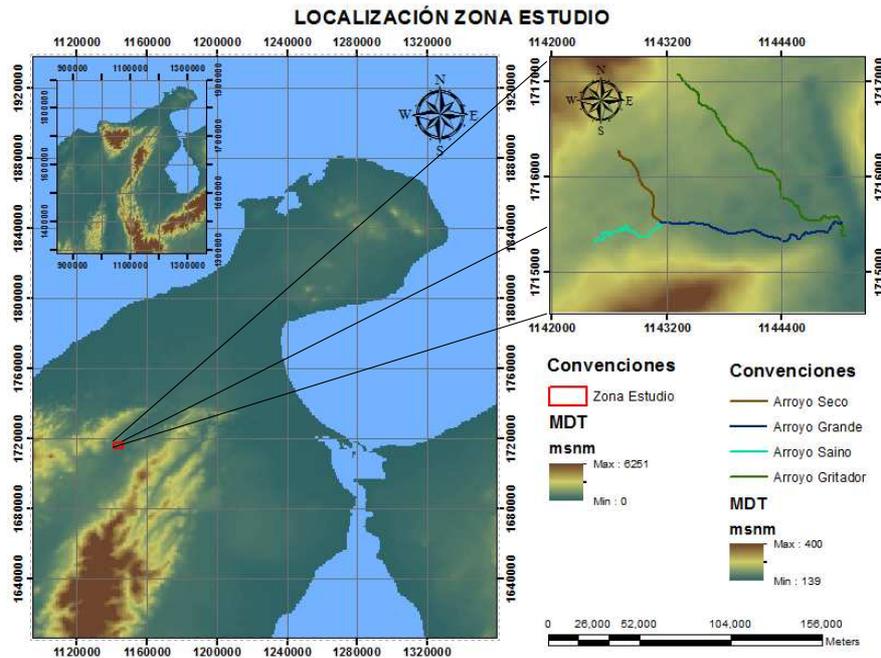
Estos caudales extremos caracterizados por intervalos de recurrencia cortos y magnitudes altas son representativos de regiones áridas, donde las condiciones climáticas presentan alta variabilidad y la respuesta del sistema fluvial ante estos eventos es extrema. Estos regímenes del flujo son relacionados directamente con caudales efectivos o formadores del cauce debido a la cantidad de trabajo geomórfico que pueden realizar al sistema. Por tal motivo, se pretende, a partir del análisis de características morfológicas y geológicas determinadas en campo y la modelación hidráulica de las condiciones actuales del canal, establecer los rasgos morfológicos más representativos de corrientes tipo arroyo, y las posibles variaciones que estas pueden presentar bajo condiciones climáticas extremas.

La metodología planteada para el desarrollo de la caracterización morfológica de las corrientes, incluye la revisión de la topología y configuración de las corrientes de estudio y de los sedimentos propios de cada una, así como la cuantificación de eventos máximos de escorrentía propiciados por fenómenos de precipitación extrema mediante modelación en software.

Los resultados de la investigación pretenden establecer las condiciones morfológicas más típicas de los arroyos perturbados por condiciones climáticas de alta variabilidad y procesos acelerados de degradación del sistema, que propician escenarios hidráulicos con comportamientos escasos y respuestas inesperadas.

## **LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio (Figura 1) se localiza en el municipio de Hato Nuevo en el departamento de la Guajira, en la zona norte de Colombia (región Caribe), sobre la península que lleva el mismo nombre del departamento.



**Figura 1.-** Localización de la zona de estudio. Hatónuevo, La Guajira, Colombia.

El territorio se encuentra influenciado rigurosamente por las ondulaciones de la Serranía del Perijá hacia el este, y la Sierra Nevada de Santa Marta hacia el oeste, dándole estos accidentes geográficos la calidad de piso térmico cálido. Es regado por las aguas del río Ranchería en su trayecto al mar Caribe, al cual descargan sus aguas una serie de arroyos, caños y afluentes menores entre los que se destacan por su gran capacidad de transporte el arroyo Gritador, arroyo Seco y arroyo Grande y se constituyen en la fuente de estudio.

La temperatura media anual de la zona muestra un grado de variabilidad bajo, los registros históricos muestran valores medios que oscilan entre 27,1 y 29,8 °C con un promedio de 28,2°C; máximos de 30,7°C y mínimos de 24,4°C para los meses de junio y diciembre respectivamente. Los valores de humedad alcanzan un máximo de 82% en el mes de octubre y un mínimo de 56% en los meses de julio y enero, para un valor medio multianual de 70%.

El clima en la zona presenta una gran influencia de los vientos alisios del Caribe, que al ingresar al territorio Colombiano por la parte norte de la península de la Guajira manifiestan su efecto sobre las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, formando allí nubes de gran aporte pluviométrico para la región. Debido a esto, la mayor parte de la península sufre la falta de precipitaciones consecuentes ya que el aire húmedo no encuentra obstáculos orográficos suficientes para condensarse, generando de esta forma lluvias locales.

El régimen de lluvias presenta un comportamiento bimodal, con periodos de máxima en marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre y periodos de mínima en diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto; entre junio y julio se presentan las menores precipitaciones en la zona acompañadas por altas temperaturas, periodo que se conoce como “veranillo”.

## **METODOLOGÍA**

### ***Caracterización geológica***

Hacia finales del Paleozoico y en el Triásico – Jurásico eventos orogénicos generan un umbral

interandino, correspondiente a la Cordillera Central, que incluía a la Sierra Nevada de Santa Marta. En este umbral ocurre un intenso fracturamiento que dividió la Sierra Nevada en bloques alargados y eventos intrusivos importantes que determinan la implantación de los batolitos y plutones que se presentan en la Sierra Nevada actualmente.

Con la finalización de los eventos magmáticos intrusivos se producen los flujos de rocas ígneas lávicas a lo largo de fracturas y discontinuidades presentes en el macizo, constituyendo de esta forma los afloramientos que se presentan hoy en día en el sector de la Presa de El Cercado. En la parte tardía del Terciario, los movimientos orogénicos conducen a la separación de la Sierra Nevada de la Cordillera Central. En este se genera un importante fracturamiento al interior de la Sierra Nevada, que junto con su levantamiento le generan la configuración actual, que corresponde a bloques delimitados por fallas algunas de ellas reactivadas en esta fase final del levantamiento.

Las cuencas de los Arroyos Grande, Gritador y Seco localizados en el municipio de Hato Nuevo (Figura 2), se encuentran enmarcadas en las estribaciones de las vertientes NE de la Sierra Nevada de Santa Marta, con un predominio de relieves bajos, del tipo colinas y superficies ligeramente inclinadas. Las colinas se encuentran modeladas en la unidad litológica “Calizas y shales cretácicos sin diferenciar - Kcsi”, de origen marino, se distribuye ampliamente sobre las márgenes de los valles asociados a los arroyos Gritador, Seco y el caño Manantialito (afluente del arroyo Grande), compuesta por calizas en ocasiones terrígenas, lodolitas calcáreas (generalmente fisiles), arenitas calcáreas, limolitas calcáreas, limolitas silíceas y chert negro; la unidad litológica presenta coloración característicos de gris, gris oscuro, crema, y de alteración amarillo y ocre, con abundantes fósiles o fragmentos fósiles de bivalvos, gasterópodos, amonitas, ostreidos, foraminíferos, etc., y con concreciones calcáreas que varían en diámetro desde unos centímetros hasta varios decímetros. Las superficies ligeramente inclinadas corresponden a depósitos de abanicos aluvio-torrenciales (Qal) compuestos de secuencias de flujos de escombros con predominio de bloques de roca calcárea de variedad de tamaños, redondeados a subredondeados y flujos de lodo de matriz limo-arcillosa con bloques de roca redondeados a subredondeados (INGEOMINAS, 2007).



Figura 2.- Mapa Geológico del Municipio de Hato Nuevo. Tomado de la Plancha 21 Fonseca, INGEOMINAS 2007.

### **Caracterización geomorfológica**

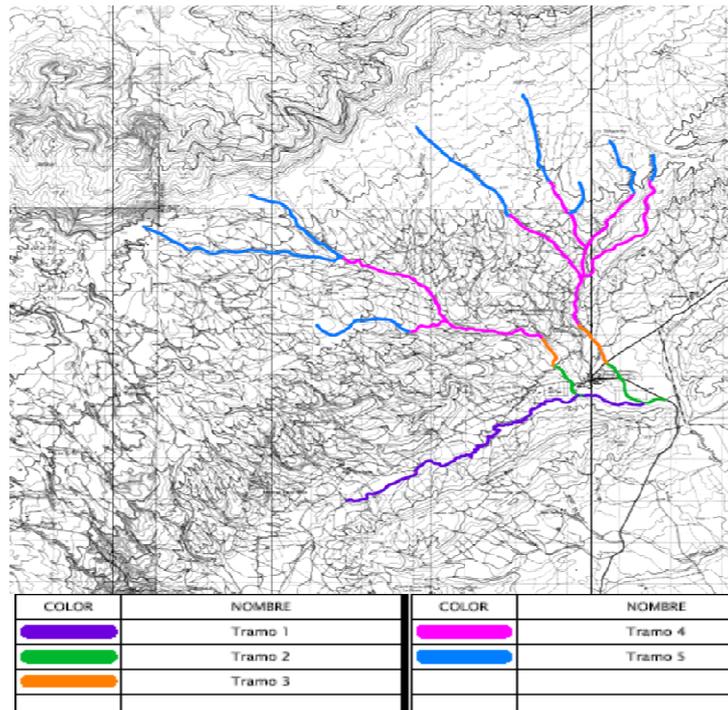
El proyecto se localiza en las estribaciones orientales de la Sierra Nevada de Santa Marta, la

cual hace parte del sistema montañoso colombiano conformado por un macizo ígneo-metamórfico y por rocas vulcano-sedimentarias y sedimentarias plegadas. Adicionalmente se encuentran las acumulaciones de depósitos cuaternarios asociadas a drenajes y a movimientos en masa. En cuanto a formas del terreno que corresponden a elementos del relieve caracterizados por una morfometría, una dinámica y una historia asociados a procesos de formación, se encuentran laderas, cuyas formas son más frecuentes en los relieves ígneos-metamórficos, presentándose en formas rectas y de hasta más de 150 m de largo, lo que indica la alta estabilidad de la unidad; en aquellas en donde se han presentado fenómenos de degradación se presentan laderas convexas alternadas con cóncavas; se presentan también llanuras de divagación, que corresponden a las formas asociadas a los drenajes actuales principales y en donde se encuentran diques, playas, taludes y capas de limos de desborde y de explayamiento.

La cuenca del arroyo Grande está enmarcada por una llanura aluvial amplia limitada por las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta hacia ambos márgenes del cauce principal; las mayores extensiones en la planicie inundable se presentan sobre la margen izquierda sobre la cual se localiza la cabecera municipal del municipio de Hato Nuevo. Las cuencas de los arroyos Gritador y Seco, se encuentran enmarcadas en las estribaciones de las vertientes Nor-Este de la Sierra Nevada de Santa Marta, sobre la margen izquierda de la cuenca del arroyo Grande, con un predominio de relieves bajos, del tipo colinas y superficies ligeramente inclinadas de acumulación de depósitos de abanicos aluviales caracterizado por material redondeado tipo guijarro grande, ambos moldeados en materiales calcáreos.

Adicionalmente fueron identificadas diferentes morfologías similares a lo largo del cauce de los arroyos estudiados dando lugar a la identificación de cinco (5) tramos característicos con igual sección transversal y composición sedimentológica similar (Figura 3):

- *Tramo 1:* canal con sección transversal amplia desarrollando una llanura aluvial extensa sobre ambos márgenes, con predominio de sedimentos finos tipo limo, limos arcillosos y arenas.
- *Tramo 2:* Canal moderadamente amplio y poco profundo con predominio de bloques de roca redondeados de composición calcárea, de tamaños entre 0.05 y 0.20 m. Pocos bloques de tamaño métrico.
- *Tramo 3:* Canal con sección transversal moderadamente amplia y poco profunda con predominio de bloques de roca redondeados a subredondeados de composición calcárea, de tamaños entre 0.20 y 1.00 m.
- *Tramo 4:* Cañón estrecho con sección en forma de “V” predominando bloques de roca subredondeados a subangulosos de composición calcárea, de tamaños entre 0.50 y 2.00 m, con un alto aporte de bloques de roca desde 1.00 m hasta 5.00 m de diámetro, provenientes de las vertientes laterales escarpadas. Socavación lateral fuerte en ambos márgenes.
- *Tramo 5:* Valles amplios moldeados sobre roca calcárea, con presencia de canales con tramos limpios en roca dura expuesta y en tramos con presencia de bloques de roca entre 0.20 y 0.50 m.



**Figura 3.-** Mapa Geomorfológico de los Arroyos Grande, Gritador y Seco. Municipio de Hato Nuevo, Guajira, Colombia (Sanchez, Wilmar, 2011)

### ***Configuración morfológica del canal***

A partir de las características morfológicas observadas en campo se pudieron identificar procesos de incisión del cauce en dos de las tres corrientes de estudio (arroyo Gritador y Seco), localizadas sobre el flanco noreste de la Sierra Nevada y cuyo material predominante es de composición calcárea tipo roca. Los cambios de coloración en el material que compone los márgenes laterales del cauce, permiten identificar rasgos representativos de procesos erosivos, los cuales han rebelado las diferentes capas de material que componen el estrato de suelo, hasta el punto de exhibir la roca base característica de la zona (roca de coloración blanca por su composición calcárea) y que puede observarse en la parte inferior de los taludes del cauce (Figura 4). El arroyo que transcurre entre las estribaciones montañosas de la zona (arroyo Grande), y cuyo alineamiento es característico de ríos de planicie con divagación, meandros pronunciados y planicies de inundación extensa, presenta procesos de degradación no muy representativos caracterizado por divagación lateral del cauce y procesos de agradación que ocurren con frecuencia, dando lugar a islas puntuales de material tipo grava en la mayoría de las curvas presentes (Figura 5).



**Figura 4.-** Rasgos de procesos de incisión del cauce. Arroyo seco.

Tanto el arroyo Seco como el Gritador son corriente efímeras, sin caudal constante la mayor parte del año, y cuyos aportes están influenciados directamente por la escorrentía superficial generada durante eventos de lluvia. Aunque el arroyo Grande es una corriente efímera, presenta en un tramo flujo constante la mayor parte del año, como consecuencia de la descargan de afluentes correspondientes a fuentes subsuperficiales.



**Figura 5.-** Canal principal y formas de sección transversal. Der. Arroyo Grande. Izq. Arroyo Gritador.

El perfil longitudinal de las corrientes (Figura 6, Figura 7, Figura 8) corresponde a un tramo representativo del canal donde se realizó un levantamiento topográfico detallado. A partir de estos perfiles fue posible determinar los cambios de pendiente en el lecho (Tabla 1) y las principales zonas de producción, transporte y depositación de material.

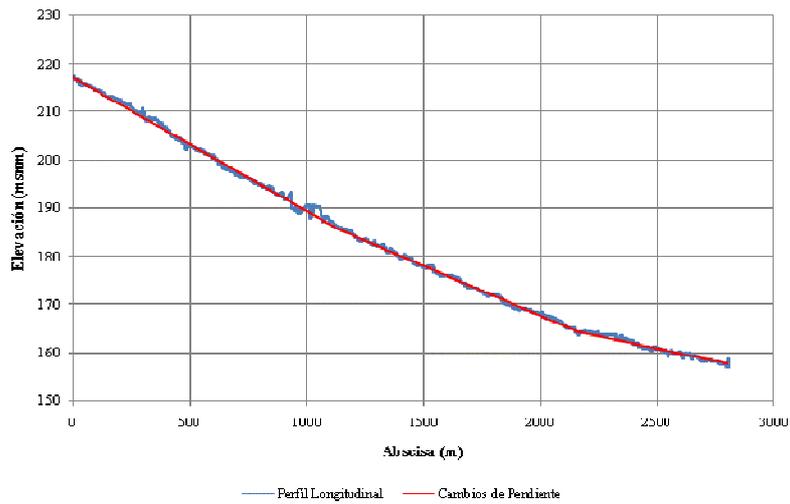


Figura 6.- Perfil longitudinal por el eje del arroyo Gritador.

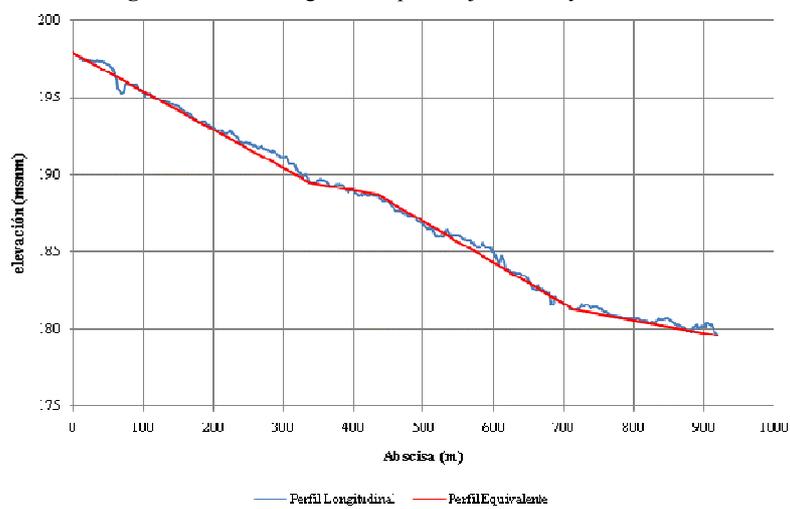


Figura 7.- Perfil longitudinal por el eje del arroyo Seco.

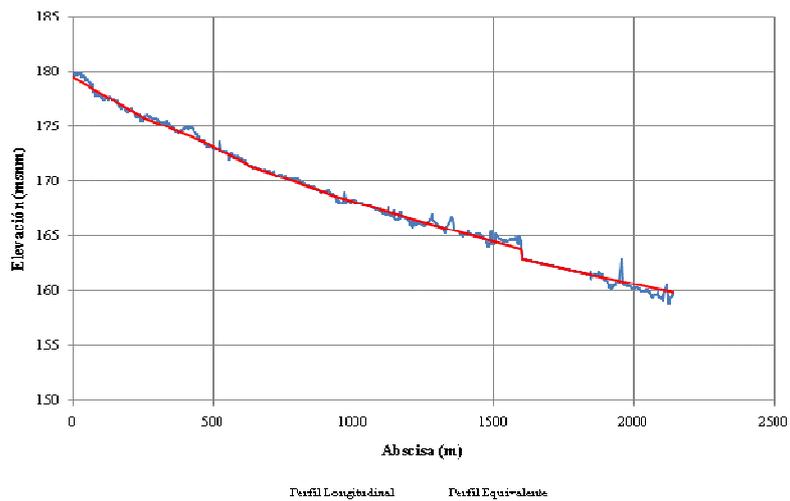


Figura 8.- Perfil longitudinal por el eje del arroyo Grande.

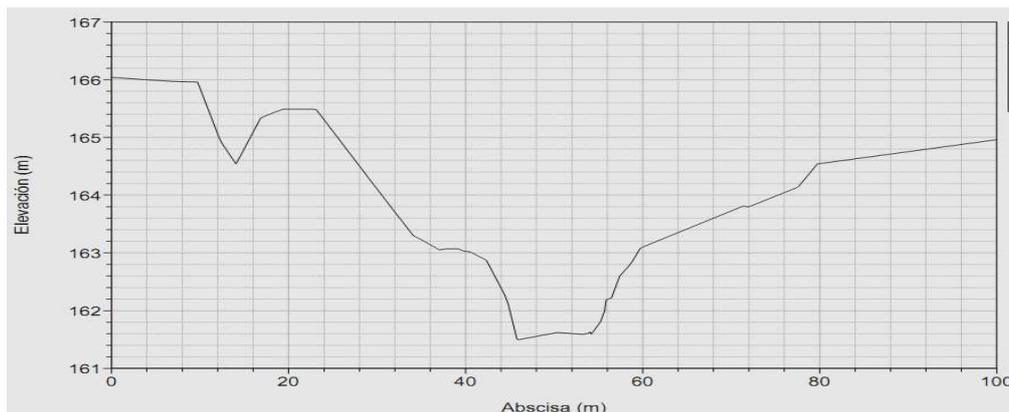
Tabla 1.- Pendiente media del cauce para las tres corrientes en estudio.

	Arroyo Gritador	Arroyo Seco	Arroyo Grande
<b>S (%)</b>	2.08	2.00	0.92

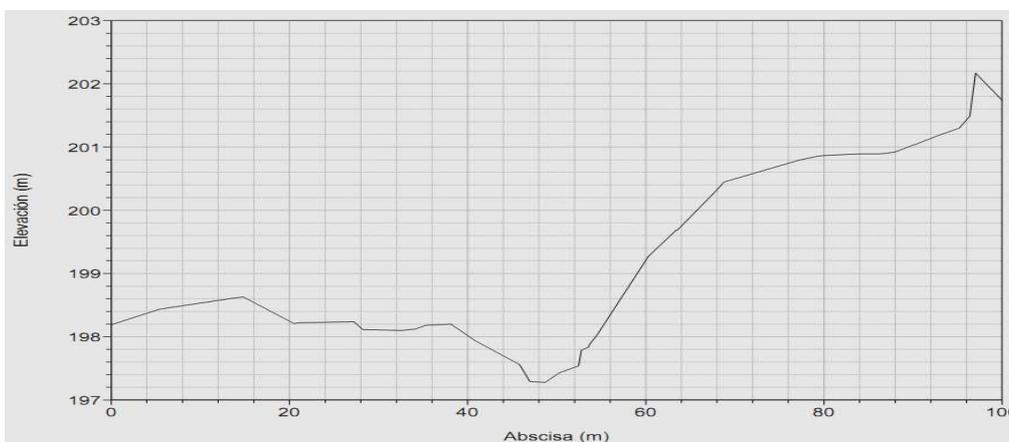
El arroyo Grande presenta la pendiente más baja de las tres (3) corrientes, debido a que el desarrollo de su cauce se presenta sobre zona plana y de bajo gradiente; por lo contrario el arroyo Seco y Gritador exhiben pendientes mayores y de magnitud semejante, debido a desarrollarse sobre zonas montañosas.

Puede identificarse claramente para el arroyo Gritador y Seco una zona de baja pendiente cerca a la descarga sobre el arroyo Grande, donde los procesos de degradación no son tan marcados en comparación con los procesos de agradación, que representan zonas de depositación de material transportado desde la parte alta de la cuenca y donde posiblemente el material base no es fácilmente erodable.

La sección transversal para las corrientes de estudio presenta un límite de banca llena definido por los quiebres en el talud, donde comienzan las zonas de menor pendiente que sirven de almacenamiento para el desbordamiento del flujo asociado a eventos extremos. La sección del arroyo Grande (Figura 9), cuyo alineamiento presenta características de un río de planicie, tiene forma encajonada con taludes verticales donde se da inicio a la planicie inundable del cauce; mientras que para el arroyo Seco (Figura 10) y Gritador (Figura 11) se puede observar una sección en batea con canal amplio y taludes inclinados de altura variable no muy pronunciada, que delimitan zona de almacenamiento no muy planas y con extensión relativamente corta, que otorgan mayor capacidad hidráulica al cauce principal.



**Figura 9.-** Sección transversal canal arroyo Grande, K2+800.



**Figura 10.-** Sección transversal canal arroyo Seco, K0+040.

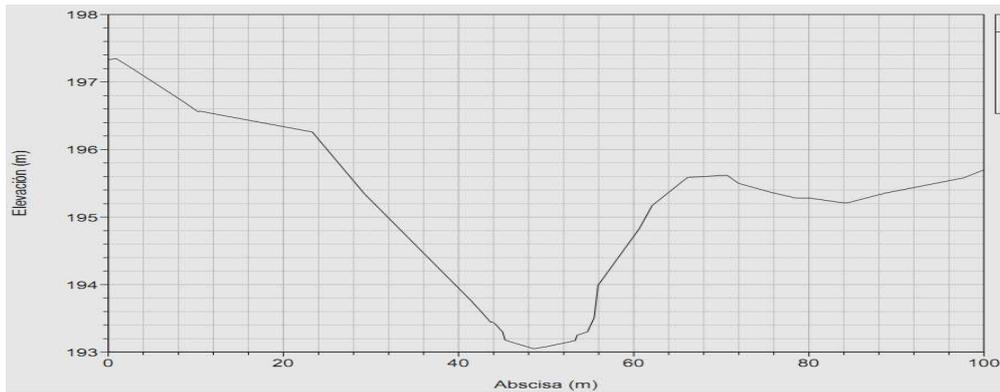


Figura 11.- Sección transversal canal arroyo Gritador, K1+025.

### Caracterización sedimentológica

Para la caracterización del material del cauce se implementó el método de Wolman (Wolman, 1954), el cual, a partir de una división en cuadrícula de un tramo estable del canal (tramo recto con geometría relativamente uniforme y pendiente homogénea) se establece la granulometría del mismo, mediante la medición de la mayor dimensión del material que se encuentre en el vértice de cada rectángulo que define la cuadrícula, graficando posteriormente la frecuencia de ocurrencia de cada partícula en los rangos milimétricos definidos (Posada, 1994). Los diámetros característicos para cada corriente se muestran en la Tabla 2.

Se realizó en campo la medición del material característico para cada una de las corrientes en estudio (arroyo Gritador, arroyo Seco y arroyo Grande) obteniéndose la curva de frecuencia del material y la curva granulométrica característica para cada uno (Figura 12, Figura 13, Figura 14). La toma de datos se realizó sobre tramos estables en cada corriente, divididos en cuadrículas de ancho igual al ancho del canal y largo igual a dos (2) veces el ancho del canal asegurándose al menos 50 vértices dentro de la cuadrícula.

Tabla 2.- Sedimento Característico de los tramos de estudio.

<b>Di [mm]</b>	<b>D<sub>10</sub></b>	<b>D<sub>16</sub></b>	<b>D<sub>50</sub></b>	<b>D<sub>65</sub></b>	<b>D<sub>75</sub></b>	<b>D<sub>84</sub></b>	<b>D<sub>90</sub></b>
<i>Arroyo Gritador</i>	34.39	44.16	72.41	84.63	108.61	167.26	231.71
<i>Arroyo Seco</i>	8.71	13.65	81.08	147.91	219.31	340.87	491.77
<i>Arroyo Grande</i>	11.88	16.42	67.28	105.38	171.32	271.69	343.94

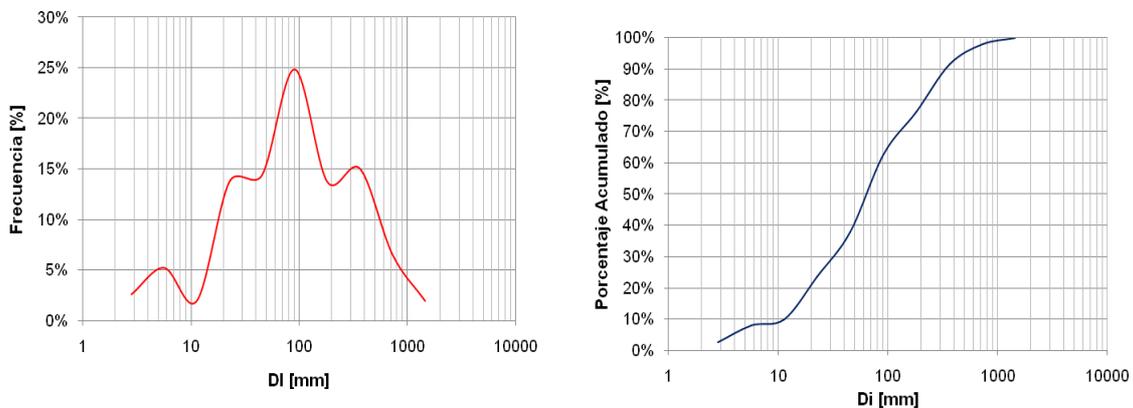


Figura 12.- Granulometría del sedimento de fondo, Arroyo Gritador

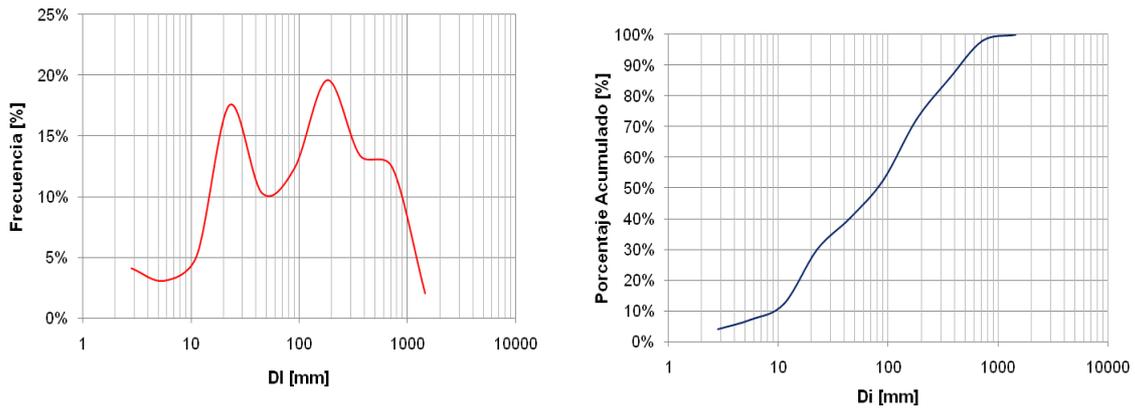


Figura 13.- Granulometría del material de fondo, Arroyo Seco.

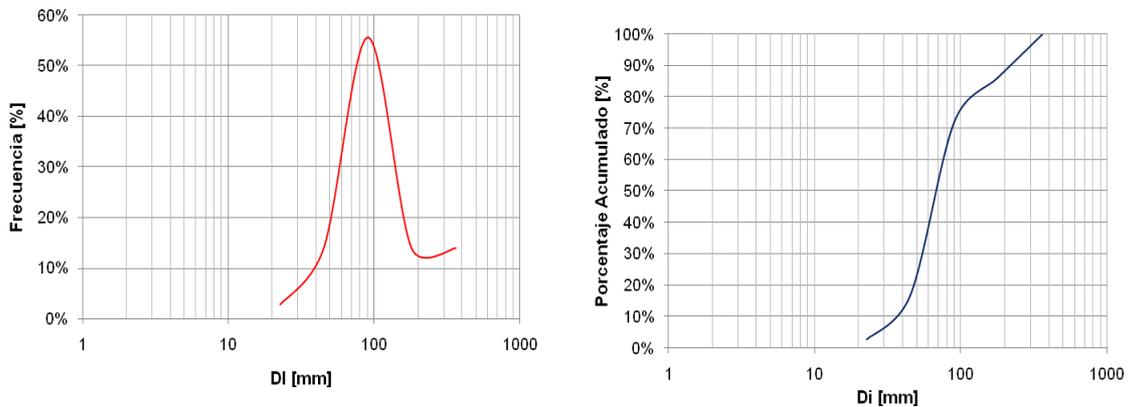


Figura 14.- Granulometría del material de fondo, Arroyo Grande.

Se observa una curva granulométrica extensa tanto para el arroyo Gritador como para el arroyo Seco (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.12** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.13**), donde el tamaño del material varía desde los 3mm hasta los 1500mm, representando una distribución granulométrica con gradación amplia del sedimento de la corriente. Para el arroyo Grande (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.14**) se presenta el caso contrario, relacionado directamente con la distribución unimodal del material, donde la gradación del material es muy estrecha y las variaciones del tamaño del sedimento oscilan dentro de un rango menor (3mm hasta 350mm).



Figura 15.- Material característico del lecho. Der. Arroyo Gritador. Izq. Arroyo Grande.

La caracterización del sedimento de la corriente permite establecer variaciones y procesos en

el cauce que definen el comportamiento hidráulico del flujo y las variaciones morfológicas del canal como respuesta a la dinámica del sistema. La caracterización del sedimento permite establecer patrones de la corriente, tales como rugosidad del cauce, asociada al diámetro  $D_{90}$  característico de la capa superficial del lecho, y estabilidad del cauce mediante la implementación del diámetro  $D_{50}$ .

Con los datos obtenidos de la caracterización del material, se estimó el coeficiente de Manning para cada uno de los canales con el fin de conocer la rugosidad propia, mediante la implementación de ecuaciones que precisan a partir de la geometría del material característico las condiciones de rugosidad del mismo; se estimaron los valores mediante las ecuaciones de Lane & Carlson (1953), Garde & Rajju (1978); Subramanya (1982), Meyer-Peter & Müller (1948), Bray (1979) y Keulegan (1938).

El valor utilizado para el coeficiente de Manning ( $n$ ) se tomó como el promedio de los valores obtenidos mediante cada metodología mostrada. A partir de los datos tomados en campo se observa que el material característico de las corrientes ( $D_{50}$ ) tal como se muestra en la Tabla 1, es tipo cascajo según la clasificación del material del Sistema Wentworth (Rouse, 1951) material relativamente grueso común para corrientes torrenciales tipo arroyos.

**Tabla 2.-** Estimación del coeficiente de Manning mediante diferentes metodologías.

<b>METODO</b>	<b>Arroyo Gritador</b>	<b>Arroyo Seco</b>	<b>Arroyo Grande</b>
Lane y Carlson (1953)	0.035	0.037	0.033
Garde & Raju (1978)	0.030	0.031	0.030
Meyer-Peter-Muller (1948)	0.032	0.034	0.030
Bray (1979)	0.032	0.033	0.032
Keulegan_1 (1938)	0.025	0.026	0.025
Keulegan_2 (1938)	0.043	0.046	0.042
Keulegan_3 (1938)	0.032	0.033	0.029
<b>Manning (n)</b>	<b>0.032</b>	<b>0.034</b>	<b>0.031</b>

### ***Comportamiento hidráulico***

Los eventos de precipitación en la zona son el principal suministro de agua para las cuencas hidrográficas del arroyo Seco y Gritador, convirtiéndose en uno de los principales determinantes del clima en la región; mientras que el arroyo Grande presenta un suministro escaso de aguas subsuperficiales en la zona (sector conocido como El Pozo). Los registros de precipitación utilizados para la estimación de los caudales máximos probables, corresponden a estaciones pluviométricas que se encuentran por fuera de la cuenca de estudio, para lo cual fue necesaria la interpolación de datos de lluvia sobre la zona con estaciones cercanas para obtener una aproximación de los regímenes de precipitación. Las series de datos implementadas presentaban gran cantidad de datos faltas.

Para la simulación hidráulica se utilizó el programa Auto CAD CIVIL 3D para la definición de las secciones transversales, y el HEC-RAS 4.1 del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, asumiendo un porcentaje de mayoración de los caudales obtenidos mediante la hidrología, del 20% por efecto del transporte de sedimentos, es decir, que se asume para el tránsito hidráulico la masa de flujo compuesta por agua y sedimento transportado.

La modelación se realizó para un régimen mixto, es decir, asumiendo que se presenta una variación del régimen del flujo a lo largo del canal entre subcrítico y supercrítico, dado que la morfología de los cauces representa un cauce de montaña con transición a planicie, mostrando velocidades del flujo que varían entre 1.90 a 7.50 m/s para el arroyo Seco, entre 1.20 a 6.90 m/s para el arroyo Gritador y entre 1.40 y 7.50 m/s para el arroyo Grande.

La simulación representa adecuadamente la respuesta del flujo ante las variaciones morfológicas del canal, presentando descenso en la profundidad de la lámina de agua en aquellas zonas donde el cauce se contrae y por lo tanto la velocidad del flujo aumenta; y una disminución de la velocidad donde se dan aumentos de la lámina de agua. El régimen del flujo es variable a lo largo de los arroyos encontrando como régimen predominante el supercrítico, caracterizado por valores del número de Froude por encima de la unidad, asociados a altas velocidades del flujo (Chow, 1994).

**Tabla 3.-** Caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

Tr (años)	Arroyo Gritador		Arroyo Seco		Arroyo Grande	
	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qs (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qs (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qs (m <sup>3</sup> /s)
2.33	76.80	92.16	140.00	168.00	195.90	235.08
5	81.00	97.20	166.90	200.28	225.50	270.60
10	92.40	110.88	188.70	226.44	250.40	300.48
25	107.00	128.40	217.00	260.40	281.70	338.04
50	118.20	141.84	237.80	285.36	304.40	365.28
100	129.30	155.16	259.30	311.16	327.40	392.88

Nota: Q caudal líquido de diseño; Qs caudal de diseño mayorado.

## CONCLUSIONES

Aunque se encontraron materiales representativos tipo guijarros y cascajos (Rouse, 1957) para las tres (3) corrientes fuente de estudio, pudo ser apreciado mediante apiques realizados en la en campo, que a una profundidad aproximada de 1.00 m se encontraba material fino limo-arcilloso de coloración grisácea, que permitió acentuar la idea de un proceso de incisión acelerado del lecho, que ha ido deteriorando la capa rocosa expuesta, hasta el punto de generar canales activos con gran capacidad hidráulica, capaces de transportar flujos de magnitudes altas; como consecuencia de procesos erosivos ocurridos en largos periodos de tiempo.

Fueron identificados varios paleocanales acoplados al sistema de canales activos a la fecha labrados en roca, por donde actualmente no transita un flujo permanente ni un flujo efímero y cuyos rasgos morfológicos se asocian a flujos torrenciales antiguos (material grueso), lo que da indicio de una dinámica acelerada de los procesos degradacionales en la zona como efecto de la variabilidad climática.

La metodología implementada, permitió determinar los rasgos morfológicos más representativos de la zona y de las corrientes de estudio, así como las características relevantes de las condiciones del flujo bajos escenarios con morfologías dinámicas.

Entre los resultados obtenidos, se puede apreciar que la respuesta a los eventos de lluvia refleja una alta capacidad del flujo para transportar sedimento, lo que evidencia una alta

erodabilidad del material característico de la zona y un deterioro progresivo del paisaje. También los rasgos de niveles máximos permitieron definir las zonas más vulnerables a inundaciones.

***Agradecimiento.** Se agradece principalmente a la empresa “Elber de J. Hernández D. Ingeniería Civil & Ambiental”, por el suministro de la información utilizada, que sirvió de base para el desarrollo de la investigación mostrada en este estudio. Se resalta la colaboración del ingeniero geólogo Wilmar Sánchez por el estudio geológico-geomorfológico de la zona de estudio y la participación del ingeniero civil Felipe Ochoa en los estudios hidrológicos.*

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

D<sub>50</sub>: diámetro medio de las partículas en mm  
D<sub>90</sub>: diámetro 90 de las partículas en mm  
n: coeficiente de rugosidad de Manning  
Q: caudal líquido de diseño  
Q<sub>s</sub>: caudal de diseño de mayorado  
S: pendiente media del cauce  
Tr: periodo de retorno en años

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Chow, V.T.** (1994): “*Open-channel Hydraulics*”, McGrawHill Interamericana S.A.

**Posada, L.** (2003). *Curso de Obras de Control Fluvial*. Universidad del Cauca.

**Posada, L.** (1994): “*Transporte de Sedimentos*” Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín.

**Rouse, H. & Ince, S.** (1957): “*History of Hydraulics*” Constable and Company.

**Strickler, A.** (1923): “*Beitraege zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen fuer Stroeme Kanale und geschlossene Leitungen*”, Mitteilungen des Eidgenoessischer Amtes fuer Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland, 16 (in German).

**Wolman, M.G.** (1954). “*A methods of sampling coarse river-bed material*”. Transactions American Geophysical Union 35: 951-956.

Unión Temporal Guajira. (2010). “*Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental proyecto río Ranchería. Distrito de riego ranchería y suministro de agua a distrito San Juan del Cesar*”. Unión Temporal Guajira.



Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



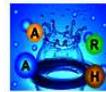
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Investig. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA s.a. INGENIERIA CIVIL E HIDRÁULICA

