

## **Granulometría de los sedimentos fluviales del canal principal y llanura aluvial del río Portuguesa, Venezuela**

Fluvial sediments granulometry of the main channel and alluvial plain of Portuguesa river, Venezuela

**Orlando González (1)**

Orlandojose57@yahoo.com.mx

**Zuly Millán (2)**

zumibo@gmail.com

(1)Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela

(2)Universidad Central de Venezuela

Artículo recibido en septiembre de 2015 y publicado en enero 2016

### **RESUMEN**

*En este estudio se analizó la granulometría de los sedimentos del río Portuguesa en su cauce principal y llanura aluvial. La metodología consistió en determinar los parámetros granulométricos según Folk y Ward (1957) y Folk (1962). Los resultados indican que el tamaño medio de los sedimentos del canal corresponde a las arenas medias, moderadamente escogidas a moderadamente bien escogidas, asimétricas positivas y agudeza mesocúrtica. En la planicie predominan limos gruesos a medios, pobremente a muy pobremente seleccionados, asimetría positiva y mesocúrticos. Los histogramas muestran que los sedimentos son unimodales y los diagramas de dispersión confirman estas diferencias. El diagrama CM sugiere que los sedimentos del canal fueron transportados en suspensión uniforme y gradada, y en la llanura predominó la suspensión pelágica. Se concluye que la granulometría de estos depósitos está asociada con los factores: ambiente sedimentario, material parental, mecanismos de transporte, escogimiento hidráulico, meteorización química y mineralogía.*

**Palabras clave:** *Río Portuguesa; canal principal; llanura aluvial; parámetros granulométricos; sedimentos fluviales*

## ABSTRACT

*In this research the grain size sediments of main channel and flood plain of Portuguesa river were analyzed. We use the granulometric parameters of Folk and Ward (1957) and Folk (1962). The results indicate that the average size of channel sediments is medium sands, moderately well sorting, positive asymmetric and mesokurtic skewness. On the other hand the sediments on the alluvial plain are dominated by the medium silt, with poorly to very poorly sorting, positive asymmetric and mesokurtic skewness. The histograms of frequency show that the sediments are unimodal. The scatter plots confirm these differences between the two environments. The Passega's CM diagram, suggests that the channel sediments were carried in graded and uniform suspension, whereas the suspension pelagic predominate in the floodplain. It is concluded that the granulometric parameters of these deposits are associated with the factors: sedimentary environment, parent material, transport mechanisms, hydraulic sorting, chemical weathering and mineralogy.*

**Key words:** Portuguesa River; main channel; floodplain; granulometric parameters; fluvial sediments

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de erosión, transporte y depositación de sedimentos clásticos terrígenos son esencialmente controlados por la deformación de la corteza terrestre y el clima. Estos sedimentos clásticos son liberados y depositados por los ríos desde los continentes hacia los océanos, y representan el archivo de la historia geológica de la Tierra donde se registran los efectos tectónicos, cambios climáticos y procesos eustáticos (Singh, Singh y Müller, 2007).

El estudio de sedimentos en distintos ambientes permite obtener información relacionada con su origen, distancia recorrida durante el transporte, mecanismos de transporte y ambientes de depositación. Tradicionalmente, los geólogos han obtenido parte de esta información a través del estudio de sedimentos no consolidados, a partir de las características texturales, mediante el uso de parámetros granulométricos o estadísticos tales como media, moda, mediana, selección, asimetría y curtosis (Inman, 1952; Folk y Ward, 1957; Folk, 1962; Spencer, 1963; Middleton, 1976).

Los resultados obtenidos a partir de estos parámetros estadísticos, permiten interpretar, expresar y comparar, la distribución del tamaño del grano de un determinado tipo de sedimento de forma cualitativa y cuantitativa.

En ese sentido, el objetivo primordial de esta contribución es discutir las variaciones del tamaño del grano de los sedimentos fluviales en el cauce o canal principal (cuencas altas, media y baja) del río Portuguesa y de su llanura aluvial, con base en los parámetros estadísticos previamente señalados y los factores ambientales o físico-naturales que lo controlan.

### **Contexto regional**

La cuenca del río Portuguesa ocupa una extensión aproximada de 59.500 km<sup>2</sup> (ver gráfico 1). El río recorre una distancia de unos 600 km hasta su desembocadura en el río Apure, cerca de la población de San Fernando de Apure. La descarga media anual de este río es de 495 m<sup>3</sup>/seg y el transporte total de sedimentos (fondo y suspensión) en promedio es de 527.000 m<sup>3</sup>/año (MOP, 1969; MARNR, 2006). El clima es húmedo tropical con precipitaciones medias anuales entre 2.000 mm y 3.000 mm en la parte alta de la cuenca, y de 1.000 mm a 1.600 mm entre el piedemonte andino llanero y la región de los Llanos propiamente dicha (MARNR, 2006).

Desde el punto de vista geológico, la cuenca alta está constituida principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico y rocas metamórficas e ígneas del Precámbrico y Paleozoico, mientras que el piedemonte andino-llanero y central, se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias del Terciario representadas por las formaciones Río Yuca, Parángula y Río Guache, entre otras (González, 2012; González, y otros, 2013).

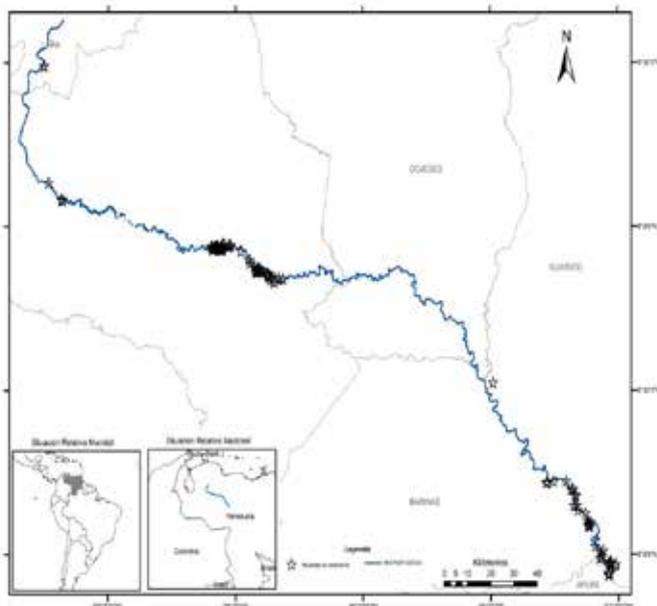
En los Llanos altos se observan depósitos asociados a grandes terrazas y abanicos aluviales, mientras que en los llanos medios y bajos, se observan depósitos sedimentarios relacionados con la dinámica fluvial del río Portuguesa y sus afluentes, y en menor grado, depósitos de origen



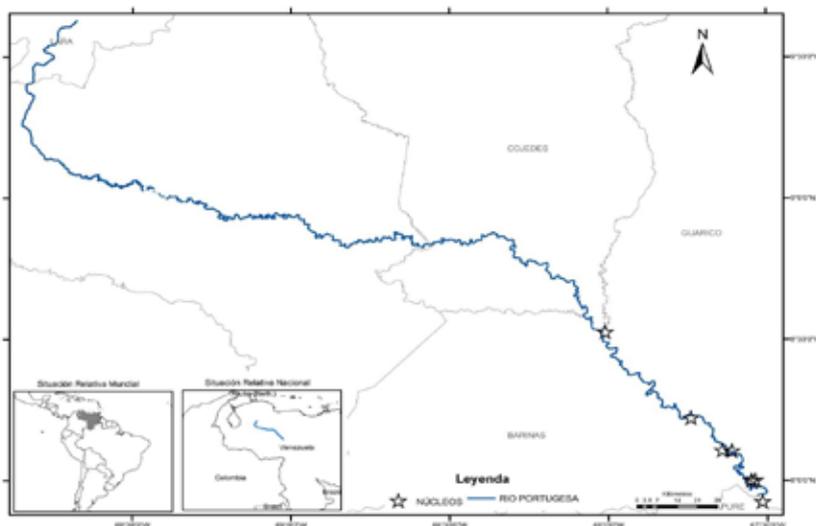
## MÉTODO

Se analizaron 104 muestras de depósitos de canal y 51 muestras de núcleos de la llanura aluvial del río Portuguesa; la localización de los sitios de muestreo se presenta en los gráficos 2 y 3. La recolección de los sedimentos se realizó en dos etapas: la primera consistió en el muestreo de depósitos de canal en las cuencas alta, media y baja del cauce principal del río Portuguesa y en algunos caños tributarios, mediante el uso de una lancha y un embudo de recolección, y en tramos espaciados aproximadamente entre 500 m y 1 km de longitud; la segunda etapa se realizó a través de la recolección de núcleos de perforación por percusión en depósitos asociados a paleomeandros de la llanura aluvial, localizados principalmente en las cuencas media y baja del río.

Posteriormente, los sedimentos fueron secados al aire en el laboratorio con la finalidad de realizarles el análisis granulométrico. Para este



**Gráfico 2.** Localización de las muestras de sedimentos del canal principal del río Portuguesa.



**Gráfico 3.** Localización de núcleos de sedimentos en la llanura aluvial del río Portuguesa.

análisis, se tomó la fracción menor de 2 mm; los sedimentos fueron lavados y pasados por el tamiz N° 230 para separar la fracción arena de la fracción limo-arcilla. La técnica utilizada fue el tamizado en seco para separar la fracción arenosa mediante la tamizadora W.S. Tyler modelo RX-29 y el uso de los tamices N° 18, 35, 60, 120 y 230; mientras que para la separación de la fracción limo-arcilla se utilizó el método tradicional de Bouyoucos (1962) con algunas modificaciones, realizando medidas con el Hidrómetro a los 2, 5, 10, 40, 160 y 1440 minutos, para abarcar un mayor rango en las fracciones de limo y arcilla.

Con los resultados obtenidos se calcularon los porcentajes acumulados y se elaboraron los histogramas de frecuencia, así como las curvas de distribución granulométrica, de las cuales se extrajeron los valores de los tamaños correspondientes a los percentiles 5, 16, 25, 50, 75, 84 y 95, para determinar las medidas gráficas (tamaño promedio del grano, mediana, asimetría, selección y curtosis) mediante las fórmulas propuestas por Folk y Ward (1957) y Folk (1968). Igualmente, se realizó la comparación entre los parámetros granulométricos antes señalados con base en los

diagramas de dispersión propuestos por Folk y Ward (1957), con la idea de corroborar las posibles relaciones o diferencias existentes entre estos sedimentos.

## **RESULTADOS**

En los cuadros 1 y 2, se presentan los resultados de los parámetros estadísticos extraídos de las curvas granulométricas de frecuencia acumulada (Gráficos 4 y 5), correspondientes al cauce principal y a la llanura aluvial del río Portuguesa respectivamente. En el cuadro 1, se puede observar que el tamaño mínimo encontrado para estos depósitos corresponde al diámetro de  $0,18\phi$ , asociado con arenas de tamaño muy grueso que representan el 3% de las muestras analizadas y que se presentan mayormente hacia la cuenca alta del río. El valor máximo ( $2,23\phi$ ) se relaciona con las arenas de tamaño fino que constituyen aproximadamente el 7% de la población estudiada.

Por su parte, el tamaño promedio para la mayoría de los sedimentos estudiados es de  $1,18\phi$ , correspondiendo este valor de los depósitos del canal del río Portuguesa, a las arenas de diámetro medio que son las de mayor abundancia a lo largo del canal medio y bajo del río. Estos sedimentos constituyen aproximadamente el 58% de las poblaciones de arenas analizadas del canal del río.

Resultados similares a los de este estudio en cuanto al tamaño promedio de las arenas fluviales en ríos de Sudamérica y otras regiones tropicales, han sido reportados por Nordin et al., 1980; Franzinelli y Potter, 1983; Johnsson et al., 1988, 1991; Johnsson, 1990; Savage y Potter, 1991; Stevaux, 1994; Latrubesse y Franzinelli, 1998; Orfeo y Stevaux, 2002; Latrubesse, 2002; Latrubesse y Kalicki, 2002; Latrubesse y Stevaux, 2002; Manassero et al., 2004; Guzmán, 2005; Mannassero et al., 2008; Reis de Brito et al., 2009.

En cuanto a la selección, los resultados indican un valor mínimo de  $0,5\phi$  y un máximo de  $1,2\phi$ , y un valor promedio de  $0,68\phi$ ; este promedio

indica que el 60% de la población de arenas varía entre moderadamente bien seleccionadas a moderadamente seleccionadas (35%), sobre todo en el cauce medio y bajo, mientras que pocas muestras son pobremente escogidas (3%) y corresponden a los sedimentos muestreados en la cuenca alta del río Portuguesa (ver cuadro 1).

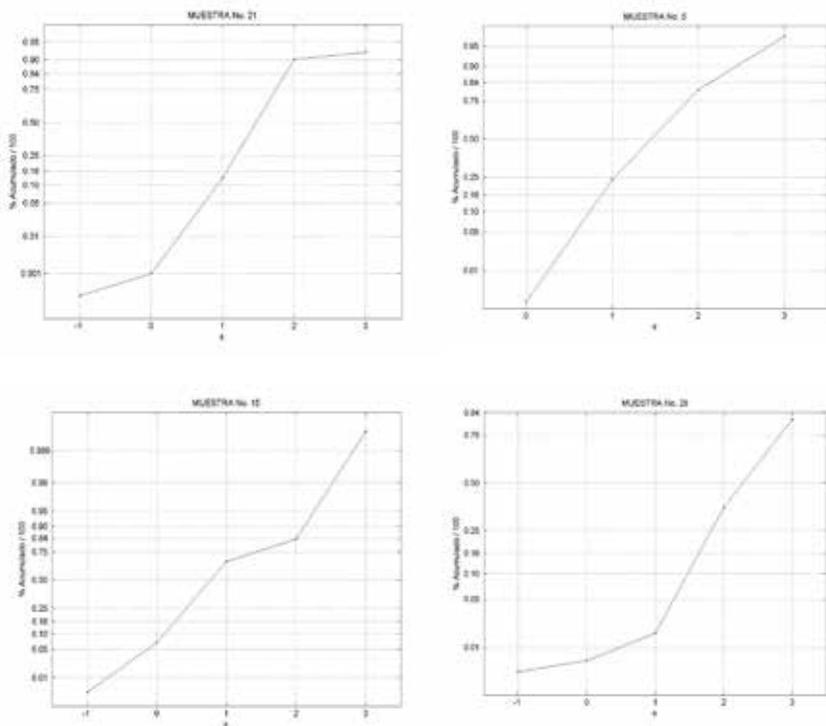
**Cuadro 1.** Resumen de los Parámetros Estadísticos y Escala Verbal de los Sedimentos del Canal Principal del Río Portuguesa

Tramo del canal principal del río Portuguesa	Tamaño de partícula	Selección	Asimetría	Curtosis
Cuenca Alta	Arenas muy gruesas y gruesas (-0,18Ø y 0,46Ø)	Mal escogidas (1,01Ø y 1,20Ø)	Cercanamente simétricas a muy asimétricas positivas (0,00Ø y 0,52Ø)	Mesocúrticas o muy leptocúrticas (1,09Ø y 1,14Ø)
Cuenca Media	Arenas gruesas a finas (0,22Ø y 2,23Ø)	Muy bien escogidas a moderadamente escogidas (0,5Ø y 0,92Ø)	Cercanamente simétrica a muy asimétrica positiva (-0,01 Ø y 0,36Ø)	Platicúrticas a Leptocúrticas (0,67Ø y 1,5Ø)
Cuenca Baja	Arenas gruesas a medias (0,03Ø y 2,0Ø)	Bien escogidas a moderadamente bien escogidas (0,41Ø y 0,89Ø)	Cercanamente simétrica a positiva a fina (-0,0Ø y 0,26Ø)	Platicúrtica a muy leptocúrtica (0,74Ø y 1,52Ø)

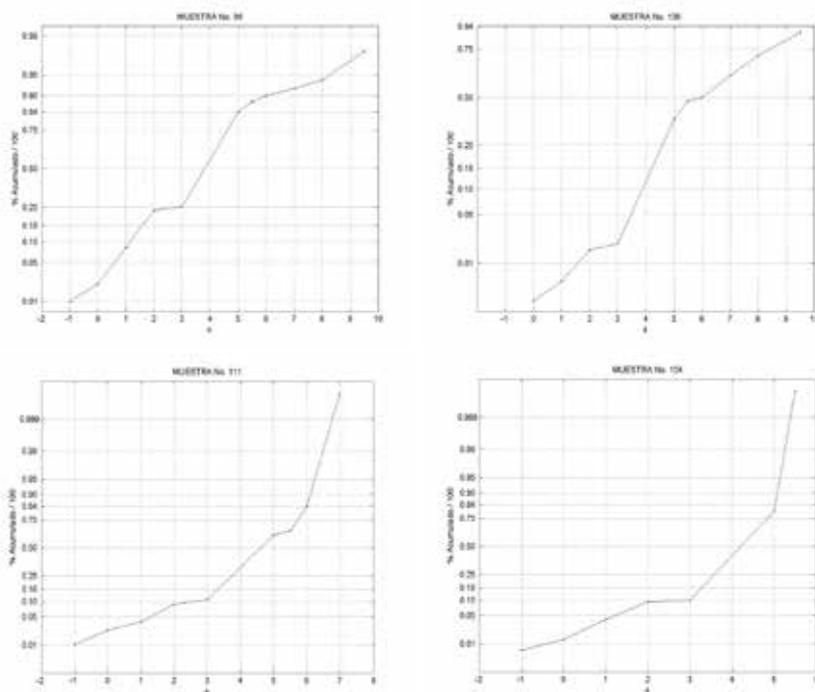
Otra medida que resulta muy útil para describir la distribución de las partículas es la asimetría (Spalletti, 2007). En este sentido, los sedimentos del canal del río presentan valores extremos de -0,01Ø y 0,52Ø, y un promedio de 0,25Ø; estos resultados indican que las arenas del cauce del río Portuguesa son cercanamente simétricas a muy asimétricas positivas y muy fuertemente finas, con una mejor selección hacia las fracciones finas en las cuencas media y baja, y con cierta dispersión para la fracción gruesa y muy gruesa en los tramos altos de la cuenca.

Para el caso de la curtosis, los resultados relativos al canal del río indican un valor mínimo de 0,67Ø o agudeza muy platicúrtica, y un valor máximo de 1,52Ø con centros excesivamente agudos o muy leptocúrticas respecto a las colas; el promedio es de 1,06Ø, lo que significa que la mayoría de las muestras analizadas (37%) son de agudeza mesocúrtica, con tendencias hacia la distribución normal (ver gráficos 4 y 5).

La distribución del tamaño de las partículas en la llanura aluvial (cuenca media-baja), se relaciona con sedimentos depositados durante la migración lateral del canal y los períodos de inundación o de overbank (ver cuadro 2). En tal sentido, los depósitos de la llanura aluvial muestran un



**Gráfico 4.** Curvas granulométricas representativas de los sedimentos del canal principal del río Portuguesa.



**Gráfico 5.** Curvas granulométricas representativas de los sedimentos de la llanura aluvial.

enriquecimiento de materiales más finos que el cauce principal del río Portuguesa. Básicamente, la llanura está constituida por limos (64%) y arenas finas y muy finas, que representan el 36% de los sedimentos estudiados.

El tamaño medio de las partículas de estos depósitos, se relaciona esencialmente con los limos gruesos (4,0 $\phi$ ), observándose un valor mínimo de 0,75 $\phi$  asociado a la entrada de arenas gruesas en la llanura aluvial durante eventos extremos de inundación, y un valor máximo de 6,67 $\phi$  que se relaciona con limos de tamaño medio (ver cuadro 2).

La selección en la mayoría de las muestras analizadas presenta un escogimiento promedio de 1,65 $\phi$ , un mínimo de 0,67 $\phi$  y un máximo de 2,9 $\phi$ ; estos valores indican que la mayor parte de los sedimentos (64%)

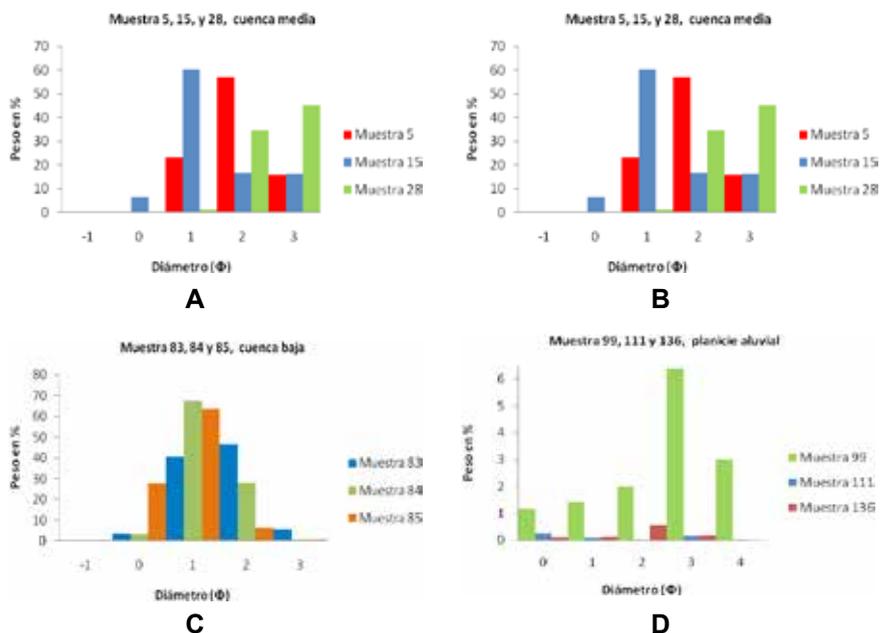
**Cuadro 2.** Resumen de los Parámetros Estadísticos y Escala Verbal de los Sedimentos de la llanura aluvial (paleomeandros-cuenca baja) del Río Portuguesa

<b>Tamaño de la partícula</b>	<b>Selección</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>
Limos medios a gruesos (4,5Ø y 6,8Ø) y arenas muy finas (2,3Ø y 3,8Ø)	Muy pobremente seleccionados (0,67Ø y 3,57Ø) a pobremente seleccionados (1Ø y 2Ø)	Muy negativa a muy asimétrica positiva (-0,54Ø a 0,62Ø)	Platicúrtica y mesocúrtica 0,67Ø y 1,11Ø)

varían entre pobremente a muy pobremente seleccionados. Su asimetría es muy asimétrica negativa a muy asimétrica positiva con un valor promedio de 0,11Ø, un mínimo de -0,54 y un valor máximo de 0,62Ø, sin embargo, los sedimentos son mayormente de asimetría positiva (42%), otras muestras son muy simétricas (21%) y pocas muestras (5%) son muy asimétricas negativas.

Con relación a la curtosis estos depósitos muestran un comportamiento similar a los del cauce principal del río Portuguesa, debido a que la mayoría de las muestras (38%) son predominantemente de agudeza mesocúrtica con un valor de 0,98Ø, valor cercano a la distribución normal de las poblaciones muestreadas, y sus valores extremos fluctúan entre 0,46Ø y 1,79Ø, es decir, son platicúrticas (33%) a muy leptocúrticas (13,5%), respectivamente (Gráfico 5). El resto de las muestras corresponde a depósitos con agudezas muy platicúrticas y leptocúrticas, con el mismo valor porcentual (10,1%). Los histogramas de frecuencia analizados en ambos ambientes sedimentarios muestran que los sedimentos tienen un patrón unimodal (ver gráfico 6).

Por otra parte, con el fin de analizar los parámetros granulométricos de forma más eficiente, numerosos investigadores han realizado gráficos en los que se representa la variación de estos parámetros respecto a otros. Un ejemplo común, es la utilización de diagramas de dispersión donde se representa la relación entre la media o tamaño medio del grano versus

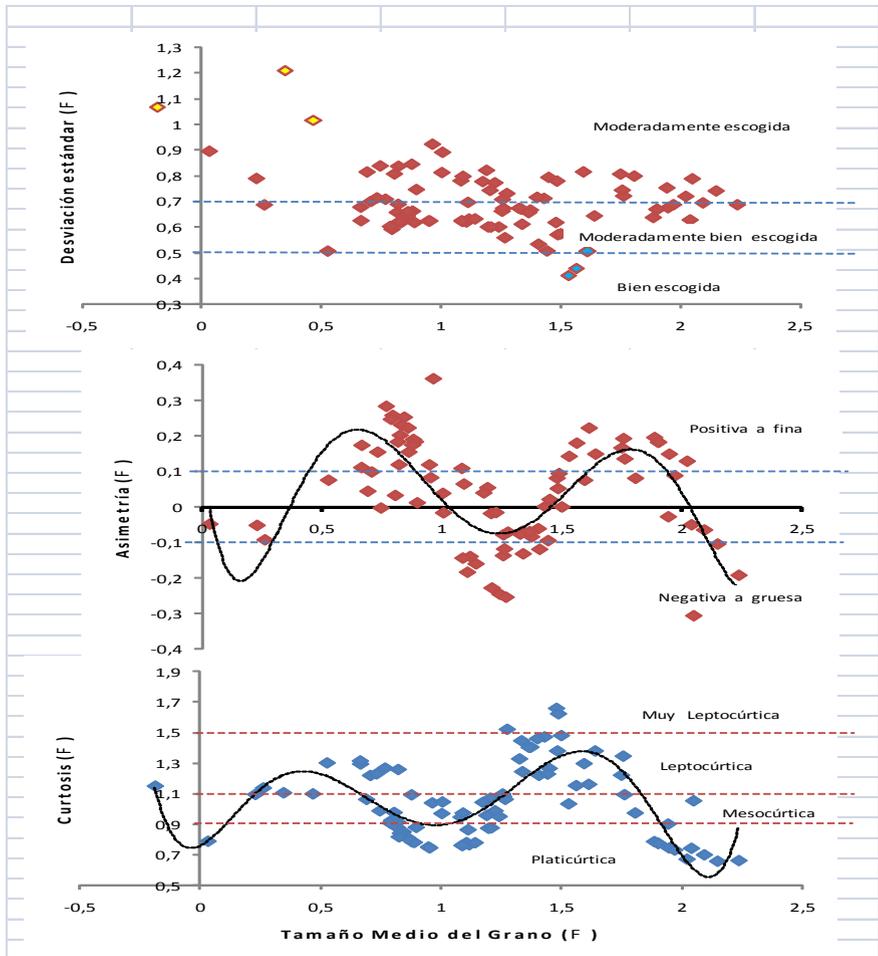


**Gráfico 6.** Distribución según diámetro de sedimentos: A) Cuenca alta, B) cuenca media, C) cuenca baja, y D) llanura aluvial río Portuguesa.

la desviación estándar, la asimetría y la curtosis; estos gráficos han sido utilizados en el estudio de sedimentos recientes (Singh et al., 2007).

Así, para las muestras de sedimentos del cauce y de la llanura aluvial, se graficaron la desviación estándar, la asimetría y la curtosis versus el tamaño medio del grano (ver gráfico 7). En cuanto a la relación tamaño medio del grano y desviación estándar, se evidencia una alta concentración de muestras en los campos moderadamente bien escogida y moderadamente escogida, éstas en especial pertenecen a las muestras tomadas de la parte media y baja de la cuenca. Los sedimentos de mayor tamaño en estas muestras ( $\leq 0,5\phi$ ) corresponden a los muestreados de la parte alta de la cuenca, siendo también los de mayor valor de desviación estándar.

En términos generales, al examinar la dispersión de estas arenas, se encuentra que hay una marcada heterogeneidad en ellas. Esto puede



**Gráfico 7.** Diagrama de dispersión del tamaño medio del grano versus desviación estándar, la asimetría y la curtosis de los depósitos de canal del río Portuguesa, Venezuela.

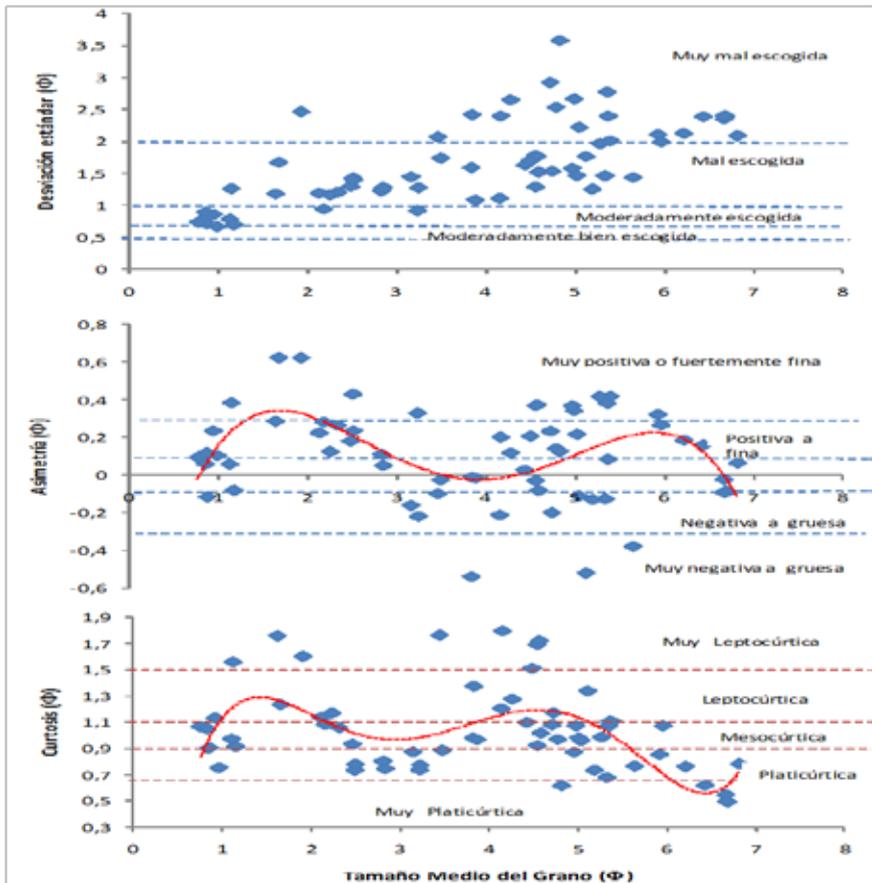
ser indicativo de la diversidad de tamaños de partículas que constituyen a estos sedimentos y que pueden dar cuenta del material (área fuente) que transporta el río, así como de los mecanismos de transporte, los cambios de pendiente y el tipo de canal. Solo las tres muestras que pueden considerarse más homogéneas y bien escogidas, corresponden a los sedimentos muestreados en el tramo bajo de la cuenca.

Al analizar el gráfico 7, que representa, entre otros aspectos, la distribución de las muestras según el tamaño medio del grano y su asimetría, se observa que las arenas poseen una asimetría leve (positiva o negativa), debido a que se encuentran en los rangos  $-0,1\phi$  a  $0,1\phi$ , por lo que su tendencia indica que a pesar de ser arenas gruesas o medias su sesgo es hacia los materiales finos. En segundo lugar, se encuentran las arenas que presentan una asimetría positiva mayor a  $0,1\phi$  y que tienen un sesgo hacia los sedimentos finos de estos depósitos de canal. Pocas muestras son de asimetría negativa, llegando a posicionarse en tamaños medios del grano entre  $1\phi$  y  $1,5\phi$ .

Este comportamiento se resume en una línea sinusoidal, y como lo señalan Folk y Ward (1957), tienen un comportamiento parecido a una "M", debido a que las muestras más frecuentemente asimétricas positivas están entre el rango  $0,5\phi$  a  $1\phi$  y el de  $1,5\phi$  a  $2\phi$  como tamaño medio del grano, alternando con la población de arenas que tienen asimetría negativa y que se concentran en los tamaños medios de grano que van de  $1\phi$  a  $1,5\phi$  y  $\geq 2\phi$  (ver gráfico 7); situación que expresa que estos depósitos no se agrupan dicotómicamente entre asimétricos positivos y negativos según el tamaño medio del grano, sino que lo hacen por alternancia; esta alternancia, también se muestra de manera menos pronunciada en el gráfico 7 cuando se representan de forma conjunta el tamaño medio del grano y la curtosis.

De tal manera, que aquellas muestras de tamaño medio  $1\phi$  tienden a ser platicúrticas, así como las que tienen un tamaño medio del grano  $2\phi$  o más. Por su parte, las muestras que tendieron a ser leptocúrticas o más apuntadas que lo normal son aquellas que tienen un grano de tamaño medio de  $0,5\phi$  ó  $1,5\phi$ , siendo las que se describen como muy leptocúrticas.

Por otro lado, los depósitos de la llanura aluvial muestran un mayor grado de dispersión. Así por ejemplo, entre los parámetros tamaño medio del sedimento y la selección se observa que el rango de tamaño de sedimentos se ubica entre  $4\phi$  y  $7\phi$ , correspondiendo estos rangos granulométricos a los limos gruesos y medios, como se había señalado previamente (ver gráfico 8).



**Gráfico 8.** Diagrama de dispersión del tamaño medio del grano versus desviación estándar, asimetría y curtosis de los depósitos de la llanura aluvial, río Portuguesa, Venezuela.

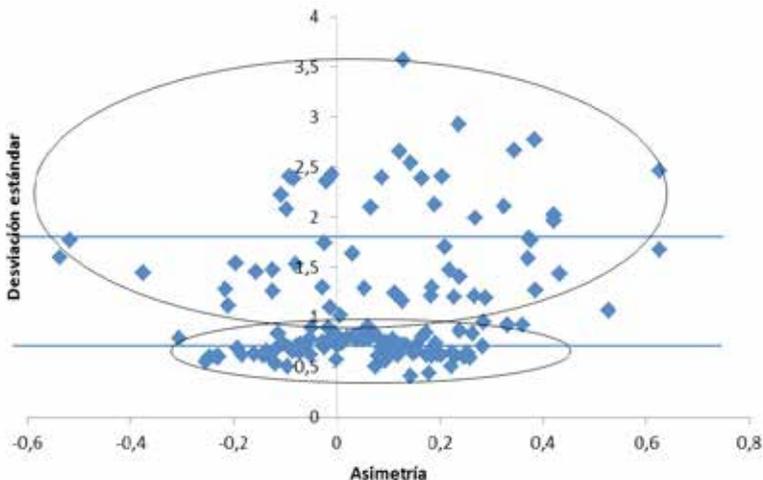
No obstante, en el gráfico se observa en menor grado la presencia de arenas gruesas a muy finas. Igualmente, se puede notar en cuanto al escogimiento, que la mayoría de las muestras tienden a ser mal escogidas a muy mal escogidas ( $1,0\Phi$  y  $3,5\Phi$ ), y sólo un pequeño grupo que corresponde a las arenas gruesas son moderadamente escogidas.

En el gráfico 8, se presentan las relaciones entre la asimetría y el tamaño medio del grano, en el mismo se puede observar que el tamaño

medio de los sedimentos se mantiene en el mismo rango y la asimetría es predominantemente positiva con cola hacia los sedimentos finos, observándose también la presencia de sedimentos con asimetría negativa a gruesa asociado a las arenas gruesas.

En cuanto a las relaciones entre la curtosis y el tamaño medio de partícula, este último se mantiene en el mismo rango (1,0 $\phi$  y 7,0 $\phi$ ), mientras que la curtosis muestra el mismo comportamiento observado en las curvas granulométricas, es decir, la mayoría de las muestras analizadas son de agudeza mesocúrtica a platicúrtica, con pocas muestras leptocúrticas a muy leptocúrticas (ver gráfico 8).

En el gráfico 9, se muestran las relaciones entre selección y asimetría para ambos tipos de depósitos. Así, para los depósitos de canal se confirma que estos son mayormente de asimetría positiva a fina (0,1 $\phi$  y 0,3 $\phi$ ) y en menor cuantía de asimetría negativa a gruesa, siendo moderadamente escogidos a bien escogidos (0,7 $\phi$  y 0,9 $\phi$ ), mientras que los sedimentos de la llanura aluvial muestran mayor dispersión, notándose que la mayoría son mal escogidos (1 $\phi$  y 2 $\phi$ ) a muy mal escogidos (2 $\phi$  y 3 $\phi$ ), con asimetrías positiva y muy positiva (0,1 $\phi$  y 0,3 $\phi$ ) a fuertemente positiva a muy negativa (-0,1 $\phi$  y -0,2 $\phi$ ).



**Gráfico 9.** Diagrama de dispersión de asimetría y desviación estándar de los depósitos del río Portuguesa, Venezuela.

La relación entre la selección versus la asimetría, en ambos depósitos tiende a ser elipsoidal (ver gráfico 9). Según Folk y Ward (1957) y Singh et al. (2007), esta relación elipsoidal entre esos parámetros probablemente se deba a que existen dos poblaciones texturales que se mezclan en todas las proporciones, a medida que son transportadas por el río y por lo tanto se corrobora que los sedimentos del lecho actual del río son menos heterogéneos, debido a que estos tienden a agruparse en mayor proporción alrededor del tamaño de las arenas medias (0,25 mm y 0,5 mm), a excepción de los sedimentos muestreados en la cuenca alta donde prevalecen las arenas gruesas y muy gruesas, en comparación con los depósitos de la llanura aluvial donde se observa la presencia de varios rangos de tamaño de grano que van desde arenas muy gruesas y gruesas, hasta sedimentos finos como las arenas finas y limos (ver gráficos 4 y 5).

El tamaño de las partículas en los depósitos analizados está controlado por el material parental o roca fuente. McLaren (1981), señala que el tamaño del grano característico de un sedimento se relaciona más con la naturaleza del área fuente que con los procesos de transporte o ambiente de depositación. Igualmente, Sing et al. (2007) señalan que los ríos derivan sus sedimentos a partir de varias fuentes que están distribuidas a través de su cuenca de drenaje, por lo que transportan un amplio rango de tamaño de granos.

En ese sentido, la principal fuente de sedimentos del río Portuguesa proviene de la erosión del cinturón orogénico de los Andes surorientales venezolanos y en menor proporción de la serranía del Interior. Esta área fuente está constituida principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico y por las rocas molásicas del Terciario, que están compuestas fundamentalmente por areniscas macizas y blandas, conglomerados, lutitas arcillosas y limolitas (González de Juana *et al.*, 1980). La otra fuente de sedimentos está representada por los depósitos cuaternarios como terrazas y abanicos aluviales que afloran en los Llanos altos, y que están compuestos por clastos de areniscas cuarzosas y lutitas provenientes de las formaciones mesozoicas y terciarias, y de la alteración de depósitos fluviales, eólicos y suelos que coexisten en la llanura aluvial del río.

En consecuencia, el río Portuguesa y sus afluentes transportan el material arenoso que proviene de la erosión y meteorización química de estos materiales, y en la medida que se incrementa la distancia de transporte de los sedimentos respecto al área montañosa, las arenas experimentan un desgaste progresivo producto de los mecanismos de erosión; estos procesos conllevan a una disminución del tamaño de la partícula y a un marcado incremento en la madurez composicional y textural del sedimento.

Según Singh *et al.* (2007), estos son procesos bien reconocidos en los sistemas fluviales, donde se produce una disminución exponencial del tamaño del grano con la distancia aguas abajo, debido al escogimiento hidráulico y los procesos de abrasión. No obstante, los sedimentos pueden ser retrabajados en la llanura aluvial por otros afluentes de la cuenca del río Portuguesa, lo que pudiese explicar o influir en la variación del tamaño de partícula como se puede apreciar en las curvas granulométricas (ver gráficos 4 y 5). Según Visher (1969) y Middleton (1976), cada segmento en que se divide una curva acumulativa, representa subpoblaciones de granos que fueron desplazados por diferentes mecanismos de transporte.

En ese sentido, la distribución de subpoblaciones de sedimentos observadas en las curvas granulométricas de los sedimentos del canal, sugieren que los sedimentos más gruesos son transportados por tracción o rodamiento, mientras que la sección intermedia de las curvas indicaría transporte de sedimentos por saltación y el sedimento más fino sería transportado por suspensión; estos procesos contribuirían con la disminución del tamaño de la partícula debido al desgaste o abrasión, experimentado principalmente por las arenas en la cuenca media y baja del mencionado río.

Paralelamente a estos procesos, está la influencia que ejerce la composición mineralógica de las arenas, las cuales están constituidas esencialmente por cuarzo, que por ser un resiatato, es un mineral estable y resistente a los procesos de abrasión y meteorización química, a los cuales puede estar propenso el sedimento que es transportado desde el área fuente. Conjuntamente con el cuarzo se observa la presencia de mica

muscovita, que también es resistente a los procesos previamente señalados, y cantidades menores de clorita, feldespato y calcita (González, 2012, González *et al.*, 2013).

En trabajos previos, se ha señalado la influencia de otros factores en la disminución del tamaño del grano de las arenas, como es el caso del tiempo de residencia de los depósitos en la llanura aluvial, al igual que los procesos de pedogénesis que experimentan los mismos (Johnsson *et al.*, 1988, 1991; Johnsson, 1990). La mejor selección de las arenas en los depósitos del lecho del río Portuguesa se asocia con la distancia de transporte, intensos procesos de meteorización química, el desgaste producido por la abrasión y mejor escogimiento hidráulico; esto último se ve reflejado principalmente por el dominio de las arenas medias en esta cuenca (González, 2012, González *et al.*, 2013).

La tendencia de la asimetría hacia lo positivo corrobora lo señalado por Friedman (1961), quien plantea que las arenas fluviales usualmente tienen una asimetría positiva y que ello se debe probablemente a que el sedimento es movido por un río o el viento y el transporte es generalmente unidireccional. En cuanto a la agudeza de las arenas del lecho del río y su tendencia hacia la distribución normal del tamaño de grano, posiblemente se relaciona con el desgaste progresivo de las arenas debido a los procesos de abrasión y ruptura, experimentados por las mismas durante el transporte y la movilización selectiva de los granos.

Para el caso de los sedimentos depositados en la llanura aluvial, el tamaño de las partículas evidentemente se relaciona con los depósitos de inundación o desbordamiento y con las condiciones hidrodinámicas de baja energía que se presentan en el sistema. Singh *et al.* (2007), reportaron que la variación en el tamaño del grano aguas abajo en el río Ganga, se debía a las fluctuaciones en las condiciones de energía requerida para el transporte y la depositación de los sedimentos.

En las curvas granulométricas de los sedimentos de la llanura aluvial (ver gráfico 5), se puede apreciar la presencia de varias subpoblaciones de partículas del tamaño de las arenas muy gruesas, gruesas, finas y muy

finas, con predominio de la fracción limosa, lo que da cuenta de una ligera heterogeneidad de estos depósitos. La fracción fina abarca aproximadamente el 80 % de la curva acumulativa, lo que sugiere que la mayoría de estos sedimentos han sido transportados por mecanismos de suspensión, mientras que la fracción gruesa puede estar relacionado con sedimentos que se han depositado en los bancos y bajíos del río, que posteriormente fueron transportados por rodamiento durante los procesos de inundación en la llanura aluvial.

Esta heterogeneidad de tamaño de las partículas, a pesar del predominio de la fracción limosa, es lo que explicaría la mala selección de los sedimentos analizados en la llanura aluvial. En cuanto a la asimetría y la curtosis, su explicación es similar a lo discutido para los depósitos del lecho del río Portuguesa.

Por último, en el presente estudio se utilizó el diagrama de Passega o C-M (1957, 1964), mediante el cual se establecieron las relaciones que existen entre la textura, los mecanismos de transporte y los procesos de depositación de los sedimentos en los ambientes analizados. El diagrama C-M combina una medida de dispersión con otra de tendencia central. Así, el valor de C corresponde al percentil 1 de la distribución del tamaño del grano y es de gran importancia porque estima en forma directa la competencia (mayor tamaño transportado) del agente de transporte (Mannasseiro et al., 2004), y M (mediana) corresponde al 50 % de la distribución que conjuntamente con el valor de C, indican diferentes ambientes sedimentarios.

Por este método se pueden discriminar ambientes sedimentarios con dominio de suspensión pelágica, suspensión gradada o uniforme y suspensión de fondo o rodamiento. En el gráfico 10, se pueden diferenciar cuatro campos bien definidos, tres de ellos asociados a los sedimentos fluviales del lecho del río o facies arenosas (campos 1, 2 y 3), y el otro a los sedimentos de la llanura aluvial o facies limo-arenosas (campo 4). En el campo 1, se observa que la facies arenosa es movilizadada por tracción o turbulencia de fondo y se relaciona con las arenas del tamaño grueso.

El campo 2 representa a las arenas que han sido movilizadas por suspensión gradada, donde los sedimentos del lecho pueden ser levantados o elevados por la turbulencia de fondo y forman una suspensión caracterizada por un regular decrecimiento de la concentración de las partículas (Sinhg et al., 2007).

Por su parte, Passega (1964) señala que los sedimentos transportados por el mecanismo de suspensión gradada representan a la fracción gruesa de los depósitos suspendidos.

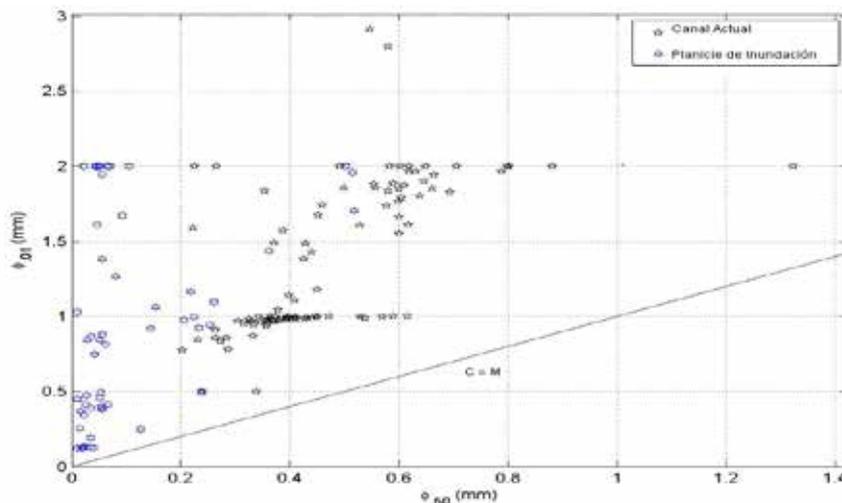
En el campo 3, se puede observar que una parte importante de las muestras de sedimentos del lecho canal del río se encuentra agrupada de forma más o menos lineal, lo que indica que estos sedimentos fueron transportados principalmente en suspensión uniforme. Estos depósitos, se relacionan con las arenas medias que son las que presentan mejor escogimiento y predominancia en el canal del río Portuguesa.

Las facies arenosas estudiadas se relacionan con ambientes fluviales o hidrodinámicos de alta a media energía. El campo 4 (ver gráfico 10), está conformado por materiales finos que incluyen a las arenas finas, muy finas y limos, principalmente. Estos depósitos están vinculados con los procesos de desbordamiento del río Portuguesa en su llanura aluvial, y son sedimentos que han sido transportados fundamentalmente en suspensiones pelágicas.

Por consiguiente, los sedimentos finos pobremente seleccionados se han depositado en la llanura aluvial por procesos de decantación-suspensión bajo condiciones de media a baja energía hidrodinámica.

## **CONCLUSIONES**

La mayoría de las arenas del canal del río Portuguesa están dominadas por la fracción que corresponde al tamaño de las arenas medias, mientras que en la llanura aluvial prevalecen los limos gruesos a medios con bajo porcentaje de arenas gruesas, arenas finas y muy finas.



**Gráfico 10.** Mecanismos de transporte según Passega (1964) para los depósitos de canal y de llanura aluvial del río Portuguesa

Las medidas y gráficos de dispersión relacionados con el escogimiento, la asimetría y la curtosis, indican que las arenas del lecho son moderadamente bien seleccionadas a moderadamente seleccionadas, cercanamente simétricas a muy simétricas positivas y distribución mesocúrtica; mientras que en la llanura aluvial los sedimentos son muy pobremente seleccionados a pobremente seleccionados, asimetría positiva a muy asimétrica positiva y agudeza similar a la del lecho del río Portuguesa.

Los histogramas del canal, así como los de la llanura aluvial del río Portuguesa, indican que el tamaño de los granos de los sedimentos es de tendencia unimodal.

Los factores sugeridos para explicar esta distribución del tamaño de las partículas se vinculan con el área fuente de los sedimentos, la distancia de transporte, la intensidad de la meteorización química, el tiempo de residencia del sedimento, el escogimiento hidráulico, los mecanismos de transporte, el retrabajo del sedimento, la composición mineralógica de los sedimentos y el ambiente de sedimentación.

El diagrama CM de Passega indica que los sedimentos del lecho fueron trasladados por diferentes mecanismos donde predominan la suspensión de fondo, uniforme y gradada, bajo condiciones de alta a media energía hidráulica; mientras que los de la llanura aluvial fueron transportados mayormente por suspensión pelágica-decantación, en un ambiente de media a baja energía hidrodinámica.

## REFERENCIAS

- Bouyoucos, G. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Journal Agronomy* 6, 54, 464-465
- Folk, R. (1962). Of skewnesses and sans. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32 (1), 147-149
- Folk, R. and Ward, W. (1957) Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27
- Franzinelli, E., y Potter, P. (1983). Petrology, chemistry, and texture of modern river sands Amazon River system. *Journal of Geology*, 91, 23-39
- Friedman, G. (1961). Distribution between dune, beach and sans river from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31, 514-529
- González, O. (2012). *Análisis de la Dinámica fluvial del río Portuguesa durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno*. Tesis de doctorado no publicada, Universidad Central de Venezuela, Caracas
- González, O., Bezada, M., Millán, Z. y Carrera, J. (2013). Cambios Paleambientales durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno en la cuenca del río Portuguesa, Llanos Centro-Occidentales, Venezuela. *Interciencia*, 38 (10), 1-9
- González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J., y Picard, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas* (Tomos I y II). Caracas: Ediciones Foninves
- Guzmán, R. (2005). *Estudio geomorfológico del sistema anastomosado del río Apure, sector Los Padrotes – La Rompida, estado Barinas, Venezuela*. Trabajo de Grado no publicado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas

- Inman, D. (1952). Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 22 (3), 125-145
- Johnsson, M. (1990) Tectonic versus chemical-weathering controls on the composition of fluvial sands in tropical environments. *Sedimentology*, 37, 713-726
- Johnsson, M., Stallar, R., and Meade, R. (1988). First-cycle quartz arenites in the Orinoco River Basin, Venezuela y Colombia. *The Journal Geology*, 96 (3), 263-277.
- Johnsson, M., Stallar, R., y Lundberg, N. (1991) Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering environment: Sands of Orinoco River drainage basin, Venezuela y Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 1622-1647
- Latrubesse, E. (2002). Evidence of Quaternary Palaeohydrological changes in middle Amazonia: the Aripuana-Roosevelt and Jiparaná "fans". *Z. Geomorphology*. N.F. 129, 61-72
- Latrubesse, E., y Franzinelli, E. (1998). Late Quaternary alluvial sedimentation in the Upper Río Negro Basin, Amazonia, Brazil: Palaeohydrological Implications. En G. Benito, V. Baker and K. Gregory (Comps.). *Palaeohydrological and Environmental Change (Charter 19 pp. 259-271)*: John Wiley & Sons Ltd
- Latrubesse, E. and Kalicki, T. (2002). Late Quaternary Palaeohydrological changes in the upper Purus basin, southwestern Amazonia, Brazil. *Z. Geomorphology*. N. F. 129, 41-59
- Latrubesse, E., y Stevaux, J. (2002). Geomorphology and environmental aspect of the Araguaia fluvial basin, Brazil. *Z. Geomorphology*, N.F. 129, 109-127
- MARNR. (2006). Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME). Dirección de Hidrología y Meteorología: Caracas
- MacLaren, P. (1981). An interpretation of trends in grain-size measures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 611-624
- Mannassero, M. Camilión, C., y Ronco, A. (2004). Análisis textural de sedimentos fluviales distales de arroyos de La Pampa ondulada, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 2, 57-68
- Mannassero, M., Camilión, C., Poiré D., Da Silva, M., and Ronco A. (2008). Grain size analysis and clay mineral associations in bottom sediments

- from Parana River Basin. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 15 (2), 125-137
- Middleton, G. (1976). Hydraulic interpretation of sand size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 84, 405-426
- MOP (1969). *Cuenca del río Portuguesa: Estudio Preliminar para el Aprovechamiento Integral de los Recursos Hidráulicos*, Caracas: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, División de Planeamiento, Sección de Investigación y Proyectos
- Nordin, C. Jr., Meade, R., Curtis, W., Bósio, N., and Landing, P. (1980). Size distribution of Amazon River bed sediment. *Nature*, 285, 52-53
- Orfeo, O., y Stevaux, J. (2002) Hidráulic and morphological characteristics of middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brasil). *Geomorphology* 44: 309-332
- Passega, R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 41, 1952–1984.
- Passega, R., 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology* 34, 830–847
- Reis de Brito, R., Edvin, N., Beasley, C., Silva dos Santos, H. (2009). Características Sedimentares Fluviais Associadas ao Grau de Preservação da Mata Ciliar-Rio Urumajó, Nordeste Paraense. *Acta Amazônica*, 39 (1), 173-180
- Savage, K., y Potter, P. (1991). Petrology of modern sands of the Guaviare and Inirida rivers, southern Colombia: Tropical climate and sand composition. *Journal of Sedimentary Petrology*, 99, 289-298
- Singh, M., Singh, I., y Müller, G. (2007) Sediments characteristics and transportation dynamics of the Ganga River. *Geomorphology*, 86 (1-2), 144-175
- Spaletti, L.A. (2007) Textura de las rocas sedimentarias clásticas. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP
- Spencer, D. (1963) The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 33 (1), 180-190
- Stevaux, J. (1994) The Upper Paraná River (Brasil): Geomorphology, Sedimentology and Paleoclimatology. *Quaternary International*, 21, 143-161
- Visher, G. (1969) Grain size distribution and depositional processes. *Journal Sedimentary Petrology*, 39, 1074- 1106

