

Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela

Recibido: 21 de enero de 2013. Aceptado en versión final: 11 de noviembre de 2013.

Orlando José González Clemente*
Maximiliano Bezada Díaz*
Zuly Del Valle Millán Boadas**
Juan Manuel Carrera***

Resumen. Este trabajo investiga la relación entre la mineralogía de sedimentos fluviales, su área fuente y el clima, en un tramo del río Portuguesa en los llanos centro-occidentales venezolanos. Para este estudio se recolectaron los sedimentos más antiguos depositados en la planicie aluvial y los más recientes depositados en el canal actual. Las arenas fueron separadas por tamizado en seco y las arcillas por Bouyoucos (1962); la mineralogía se determinó por Difracción de Rayos X. Los resultados indican que las arenas están compuestas principalmente por cuarzo, formando arenas maduras o cuarzo-arenitas. Su origen se relaciona con la desintegración físico-mecánica de las rocas del orógeno andino y la Cordillera del Interior, probablemente durante el Pleistoceno Tardío. Las arcillas están constituidas por cuarzo y caolinita,

con cantidades menores de ilita, muscovita, clorita, vermiculita y montmorillonita. Se postula un origen detrítico para algunos de estos minerales ya que la caolinita, vermiculita y montmorillonita, también pueden ser neoformadas a partir de la alteración química experimentada por las micas y feldespatos durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno. Se concluye que el origen y composición de los sedimentos de estos depósitos muestran estrecha relación con su área fuente y las condiciones climáticas que prevalecieron durante el Cuaternario Tardío.

Palabras clave: Río Portuguesa, arenas, arcillas minerales, área fuente, clima, Cuaternario Tardío.

* Departamento de Ciencias de la Tierra, Instituto Pedagógico de Caracas, Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Av Páez, El Paraíso, 1050, Caracas, Venezuela. E-mail: orlandojose57@yahoo.com.mx; mbezada1919@gmail.com

** Departamento de Matemática y Física, Instituto Pedagógico de Caracas, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Av. Páez, El Paraíso, 1050, Caracas, Venezuela 1050. /Escuela de Educación, Facultad de Humanidades, Universidad Central de Venezuela, Ciudad Universitaria, Edificio de Tránsito, Piso 3, Departamento de Estadística e Informática. E-mail: zumibo@gmail.com

*** Departamento de Oceanología y Estudios Antárticos, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Altos de Pipe, Estado Miranda, Venezuela. E-mail: juanmanuelcarrera14@hotmail.com

Cómo citar:

González Clemente, O. J., M. Bezada Díaz, Z. Del V. Millán Boadas, J. M. Carrera (2014), "Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 85, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-32, dx.doi.org/10.14350/ig.35291.

Characterization of sands and mineral clays in channel and floodplain deposits of Portuguesa river, Venezuela

Abstract. Portuguesa river floodplain is one of the largest systems in the region of central western Venezuelan llanos. This sub-Orinoco River basin covers an area of 59 500 km² which means about 6.5% of the country. The basin includes two tectonic provinces, and the river and its tributaries flow through a geological mosaic composed of rocks different ages and mineralogical composition. The interest of this paper is to examine the mineralogical composition of sands and clays in the former and present sediments of the lower basin of the river and document the relationship between the mineralogy of river sediment source area and climate variations in this region during the Late Quaternary. Most of the tributaries of the Portuguese river transport sediments from the southern and southeastern ranges of the Andes and the Interior cordillera from the Caribbean range; other small rivers originate and transport sediments from the floodplain and from the oldest foothill terraces. The methodology consisted of collecting ancient sediments deposited in the floodplain and the current channel. For this study, 40 samples of sands associated with different pools of load current bed Portuguesa River and 23 samples of clay from the oldest sediments were collected; by core drilling on bar meanders and paleomeanders in the flood plain of the river. The sand fraction was separated by dry sieving and clays by the Bouyoucos (1962) method with some modifications. Mineralogical analyzes of both fractions was determined by X-ray diffraction for the case of sand the analysis was performed only on whole sample and clays were subjected to three treatments (total, ethylene glycol and heated sample at 550°) to detecting the presence of swelling clays. The results indicate that the sands are mainly composed of quartz, forming mature sand or quartz-arenites with lesser amounts of minerals such as chlorite, muscovite, calcite and albite, among others. Which identified peaks in

the diffractograms quartz infer high crystallinity of quartz (3.3°) and a peak of lower intensity (4.2°). Meanwhile, in the clay fraction 13 crystalline mineral phases were determined mainly predominating well crystallized quartz (3.3°) and the well-crystallized kaolin (7.1°), illite (10 Å) and muscovite (5.0 Å). The origin of the sands is mainly related with the physical-mechanical disintegration of the rocks of the Venezuelan South Andean Cordillera orogen and the Caribbean range during arid climatic conditions that prevailed at the end of the Late Pleistocene and factors such as transport distance, residence time, pedogenesis, chemical weathering intensity and the source area. One detrital origin for quartz, illite and muscovite reported in the clay fraction, the origin of minerals kaolinite can be inherited from older or soil deposits associated with these fluvial sediments is postulated. However, as kaolinite and montmorillonite, vermiculite, neoformation may have originated from the chemical change experienced by the mica and feldspar, associated with wetter weather conditions, environment and intensely washed acidity conditions that characterize this tropical region. The influence of climate highlighted in the mineralogical evolution of sedimentary deposits reported in this study and suggests that the sediments were deposited from the Early to Late Holocene, under conditions similar to today's most humid tropical climate. It is concluded that the origin and composition of the sands and clays analyzed mainly show a close relationship with the source area of the sediments and factors such as the distance of sediment transport, the residence time in the channel and floodplain, the intensity of chemical weathering and climatic conditions that prevailed during the Late Pleistocene-Holocene.

Keywords: Portuguesa river, sand, clay minerals, source, climate, Late Pleistocene-Holocene area.

INTRODUCCIÓN

La planicie aluvial del río Portuguesa es uno de los sistemas fluviales más extensos de la región de los llanos centro-occidentales venezolanos. Este sistema es recorrido por los ríos Portuguesa, Guanare, Boconó, María, Morador, Guache y Acarigua, entre otros. La mayoría transportan sedimentos desde la vertiente sur de los Andes surorientales y de la Cordillera del Interior, mientras que otros ríos pequeños se originan y transportan sedimentos de la planicie aluvial y de las terrazas piemontinas más antiguas (Figura 1). Para comprender la dinámica de las planicies aluviales, se necesita de múltiples aproximaciones que combinen el estudio de proce-

dos modernos, la historia sedimentaria y el registro de la estratigrafía aluvial. Tales estudios requieren de análisis multidisciplinarios que incluyen el conocimiento geológico, geofísico, geoquímico, hidrológico, atmosférico, suelo y agricultura, ecológico y microbiológico (Pal *et al.*, 2012). En ese sentido, el estudio petrológico y mineralógico de las arenas fluviales ha sido utilizado en muchas investigaciones con el propósito de determinar la proveniencia, composición química y mineralógica y su relación con el área fuente y el clima (Basu, 1976; Potter, 1978; Savage y Potter, 1981; Franzinelli y Potter, 1983). En los Llanos venezolanos y en la planicie aluvial del río Portuguesa se han realizado estudios similares con el fin de describir

las condiciones necesarias para la producción de arenas fluviales y su relación con el área fuente, meteorización química y la información tectónica en regiones tropicales (Johnsson *et al.*, 1988; Johnsson y Meade, 1990; Johnsson *et al.*, 1991).

Igualmente, las arcillas minerales han sido usadas como indicadores de área fuente, intensidad de meteorización, madurez composicional e interpretación paleoclimática de suelos, sedimentos fluviales y eólicos (Singer, 1980, 1984; Jha *et al.*, 1993; Chakrapani *et al.*, 1995; Datta y Subramanian, 1996; Srivastava *et al.*, 1998; Thiry, 2000; Heroy *et al.*, 2003; Guyot, 2007; Guerrero *et al.*, 2009; Pal *et al.*, 2012). El propósito de este trabajo consiste en examinar la composición mineralógica de arenas y arcillas en sedimentos modernos y antiguos, en la cuenca baja del río Portuguesa, con el

fin de establecer el origen de estos sedimentos, su relación con el área fuente y con las variaciones que ha experimentado el clima de esta región, durante el Cuaternario Tardío.

Cuenca del río Portuguesa

La cuenca abarca aproximadamente el 6.5% del territorio nacional (Figura 1) y cubre un área de 59 500 km² con una descarga media anual de 495 m³/seg; el transporte total de sedimentos, en promedio es de 527 000 m³/año (MOP, 1969; MARNR, 2006). El clima de la cuenca es tropical húmedo y la precipitación anual varía entre 1 000 y 1 600 mm en los llanos centro occidentales, y 2 000 y 3 000 mm en el piedemonte y el área montañosa. Esta subcuenca del río Orinoco provee una excelente oportunidad para examinar la composición

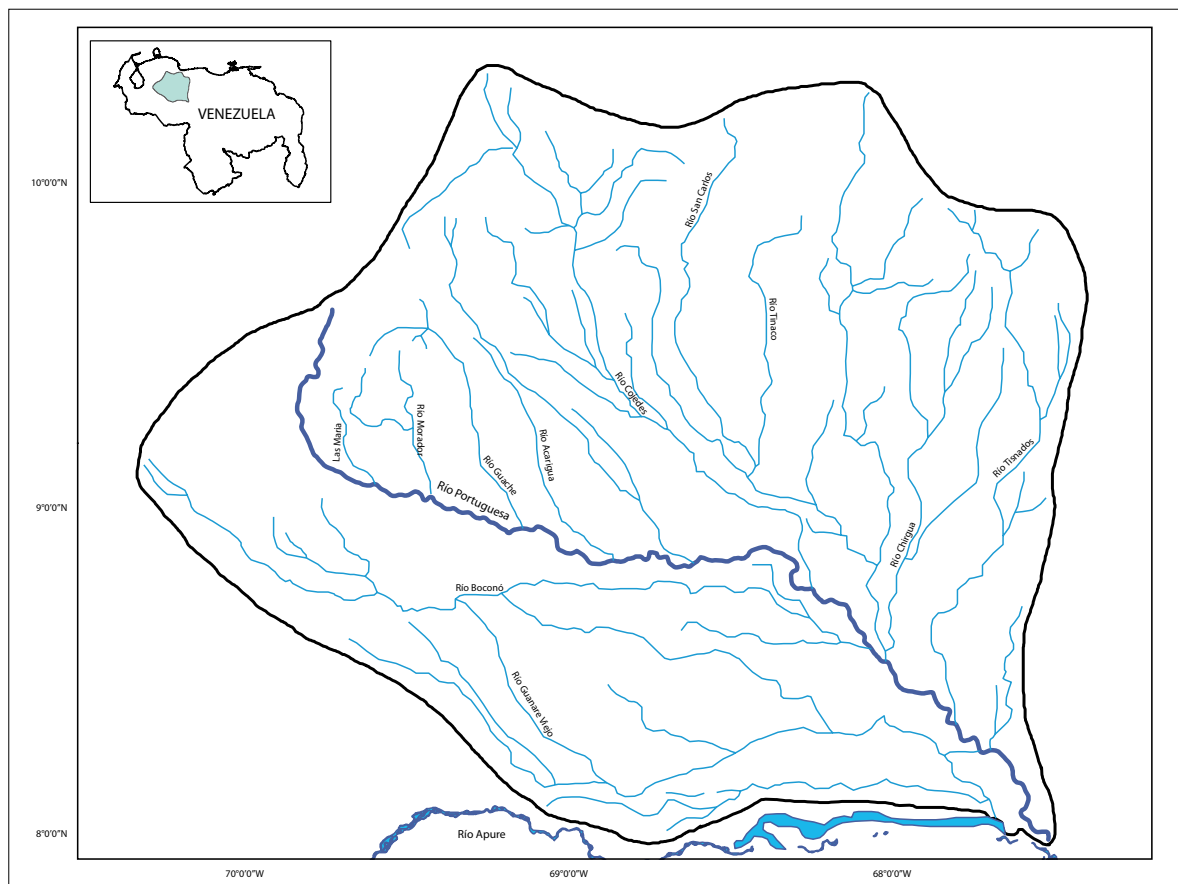


Figura 1. Localización del área en estudio.

de las arenas y arcillas, ya que el río Portuguesa y sus tributarios atraviesan un mosaico geológico constituido por rocas de variada edad geológica y composición mineralógica. La cuenca incluye dos provincias tectónicas: *a*) la provincia de los terrenos plegados y de cabalgamiento de las cordilleras de Los Andes y del Interior y *b*) la provincia de los Llanos (Figura 2). Ambas cordilleras están constituidas por rocas ígneo-metamórficas y sedimentarias de edad Precámbrico hasta el Cenozoico y sedimentos no consolidados del Cuaternario, en el piedemonte. El área montañosa presenta fuertes pendientes y picos altos (1 000 y 3 000 msnm), mientras que los Llanos son de pendiente muy baja y están constituidos por sedimentos de origen fluvial y en menor grado por depósitos eólicos, de edad Pleistoceno Tardío-Holoceno. El relieve

varía entre 200 y 50 msnm, pero existen amplias regiones que tienden a ser planas o con diferencia de pocos metros.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo de los sedimentos superficiales se llevó a cabo en los depósitos del canal mediante un bote y un embudo de recolección. Los sedimentos de la planicie de inundación fueron muestreados mediante perforaciones, realizadas en depósitos de barras de meandros (paleomeandros) localizados en la planicie aluvial. Ambos muestreos fueron referenciados con un GPS diferencial Wass (error ± 80 cm). El análisis mineralógico de los sedimentos se efectuó en el Instituto Nacional de Geología

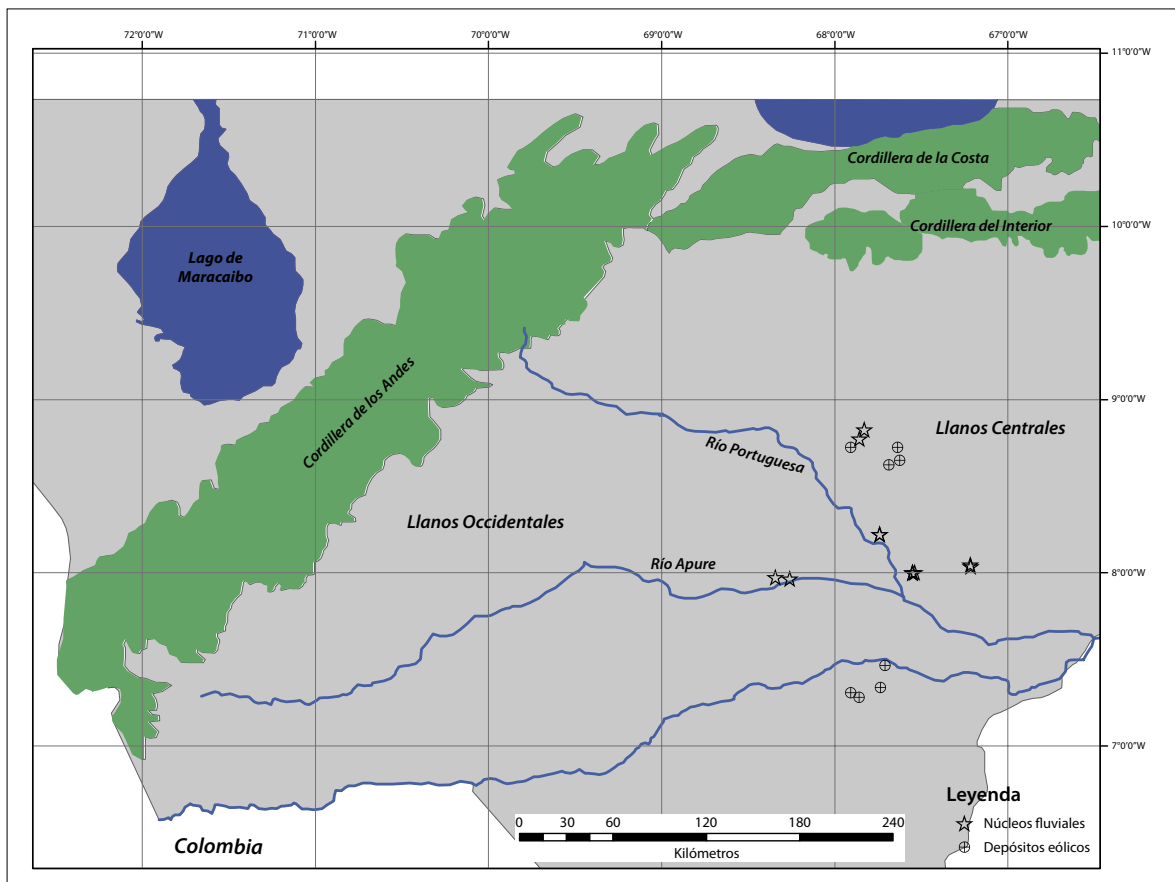


Figura 2. Localización de los depósitos fluviales y eólicos.

y Minas (INGEOMIN), del Ministerio del Poder Popular para las Industrias Básicas y Minería de Venezuela. Se analizaron 63 muestras representativas de arenas (40) y arcillas fluviales (23) con un equipo Xpert Pro, marca Phillips, con un Goniómetro modelo 3050/60 y un detector modelo 3011/20, mediante la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), utilizando radiación de cobalto con un rango de barrido entre (5 - 90°), con una resolución de 0.01 2°teta/seg, sin filtros, en condiciones operativas estándar de 40Kv 20mA. El análisis de DRX de las arenas se realizó en la muestra total, luego de que éstas fueron tamizadas en seco y separadas de la fracción limo-arcilla; mientras que la fracción arcillosa fue separada por el método de Bouyoucos (1962). El análisis de DRX para esta fracción se

llevó a cabo mediante tres tratamientos: *a)* muestra total, *b)* con etilenglicol y *c)* calentamiento de las muestras a 550° C por una hora. Los minerales fueron identificados de forma semi-cuantitativa de acuerdo con su abundancia relativa y con base en los picos de mayor intensidad de cada mineral en los difractogramas (Malagón, 1979).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fracción arenosa

En la Tabla 1 se muestran los principales minerales identificados en los difractogramas de los sedimentos arenosos y en la Figura 2 se indica la localización de las muestras investigadas. El análisis semi-

Tabla 1. Análisis semicuantitativo de rayos X de la fracción arenosa de los sedimentos estudiados

| Muestra | Clorita | Clinocloro | Cuarzo | Calcita | Fosferrita | Tirano magnetita | Muscovita | Plagioclasa Albita | Orto dasa | Calcila Magnésica | Lepidólita | Anatasa | Efesita | Goetita | Augelita |
|---------|---------|------------|--------|---------|------------|------------------|-----------|--------------------|-----------|-------------------|------------|---------|---------|---------|----------|
| 7 G | xx | | xxx | | | | | | | x | | | | | |
| 7 G | | | xxx | x | | | | | | | | | | | |
| 9 M | xx | | xxx | x | | | xx | | | | | | | | |
| 9 M | | | xxx | x | | | xx | | | | | | | | |
| 18 MG | xx | | xxx | x | | | | | | | | | | | |
| 18 MG | | | xxx | x | | | | | | | | | | | |
| 21 MF | xx | | xxx | | x | | | | | | | | | | |
| 21 MF | | | xxx | | x | | | | | | | | | | |
| 26 M | xx | | xxx | | x | | | | | | | | | | |
| 26 M | | | xxx | | | | | | | | | | | | |
| 34 MF | xx | | xxx | | x | | | | | | | | | | |
| 34 MF | | xx | xxx | | | | | | | | | | | | |
| 34 MF | | | xxx | | | | | | | | | | | | |
| 35 F | | | xxx | | | x | | | | | | | | | |
| 35 F | | | xxx | | | | | | | | | | | | |
| 36 F | xx | | xxx | | | | xx | | | | | | | | |
| 36 F | | | xxx | | | | xx | x | | | | | | | |
| 37 M | xx | | xxx | | | | xx | | | | | | | | |
| 37 M | | | xxx | | | | | | x | | | | | | |

Tabla 1. Continuación

| Muestra | Clorita | Clinocloro | Cuarzo | Calcita | Fosferrita | Titano magnetita | Muscovita | Plagioclasa Albita | Ortoclasa | Calcita Magnésica | Lepidolita | Anatasa | Efesita | Goetita | Augelita | |
|---------|---------|------------|--------|---------|------------|------------------|-----------|--------------------|-----------|-------------------|------------|---------|---------|---------|----------|---|
| 38 F | | | xxx | | | | xx | | | | | | | | | x |
| 38 F | | | xxx | | | | | x | | | | | | | | |
| 39 F | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 39 F | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 40 F | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 40 F | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 41 M | xx | | xxx | | | | xx | | | | | | | | | |
| 41 M | | | xxx | | | | | | | | | | x | | | |
| 52 M | xx | | xxx | | | | xx | | | | | x | | | | |
| 52 M | | | xxx | | | | xx | | | | | | | | | |
| 55 F | xx | | xxx | | | | | | | | x | | | | | |
| 55 F | | | xxx | | | | | x | | | | | | | | |
| 59 M | xx | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 59 M | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 64 M | xx | | xxx | | | | xx | | | | | | | | | |
| 64 M | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 64 G | xx | | xxx | | | | xx | | | | | | | | x | |
| 64 G | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 70 MF | xx | | xxx | | | x | | | | | | | | | | |
| 70 MF | | xx | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 74 F | xx | | xxx | | | x | | | | | | | | | | |
| 74 F | | | xxx | | | | | x | | | | | | | | |
| 74 M | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |
| 74 M | | | xxx | | | | | | | | | | | | | |

G= arenas gruesas; Mg= arenas muy gruesas; M= arenas medias; F=arenas finas; MF= arenas muy fina.
xxx = muy abundante, xx = abundante, x = poco abundante.

cuantitativo reveló que el mineral más abundante en todas las muestras estudiadas es el cuarzo (90% o más). Igualmente, se encontraron cantidades menores de muscovita, calcita, albita y ortoclasa. Otros minerales identificados se presentan solo en trazas o pocas cantidades en algunas de las muestras analizadas como la clorita, fosfoferrita, y clinocloro. Los picos que permitieron identificar el cuarzo

inferen una alta cristalinidad: en primer lugar se observa un pico de alta intensidad desarrollado a los 3.3 A° y un segundo pico de menor intensidad a los 4.2 A°. El segundo mineral en abundancia es la albita que fue identificado por una reflexión a los 3.1 A° y aparece como un mineral de poca a mediana abundancia; la muscovita se presenta como un mineral poco abundante y se identifica por una

señal baja y difusa (9.8 y 9.9 A°), mientras que la calcita se identifica por un pico de baja intensidad (3.0 A°) en pocos sedimentos y como un mineral poco abundante, al igual que la ortosa identificada por una reflexión a los 3.2 A°.

En estudios previos realizados en la región y áreas cercanas, se han sugerido por lo menos tres factores para explicar el origen composicional de arenas fluviales similares a las reportadas en este estudio. Estos factores son: el área fuente, la distancia de transporte y la intensidad de la meteorización química (Franzinelli y Potter, 1983; Johnsson *et al.*, 1988, 1991; Johnsson y Meade, 1990; Savage y Potter, 1991). En relación con el área fuente, el río Portuguesa y sus tributarios tienen sus cabeceras en los cinturones montañosos plegados de las cordilleras de los Andes y el Interior (Figuras 1 y 2). Estas cordilleras están constituidas por rocas de variada litología y origen que incluye gneises, esquistos cuarzo-micáceos, anfibolitas, pizarras, areniscas, conglomerados, lutitas, granitos, rocas félsicas, plutones máficos y volcánicas (Shagan, 1972; Bellizia *et al.*, 1976). Por otra parte, la región de los Llanos conforma una cuenca de antepaís que recibe actualmente sedimentos del orógeno andino y de la Cordillera del Interior (Figura 2); éstos están constituidos básicamente por depósitos cuaternarios de edad Pleistoceno Tardío-Holoceno. Específicamente, el río Portuguesa y sus tributarios cruzan este mosaico geológico donde predominan fundamentalmente rocas sedimentarias del Cretácico y el Cenozoico, que se caracterizan por la presencia de areniscas cuarzosas, lutitas silíceas, conglomerados cuarzosos, depósitos aluviales cuaternarios de composición conglomerática y areno-arcillosos y en menor cuantía rocas metamórficas e ígneas.

El predominio del cuarzo revelado en todos los difractogramas, sobre las otras fases minerales descritas confirma la relación entre la composición mineralógica de las arenas que constituyen la planicie aluvial del río Portuguesa y el área fuente. El cuarzo proviene fundamentalmente de la alteración físico-mecánica y erosión de las rocas sedimentarias cretácicas, terciarias y de los depósitos fluviales del piedemonte, cuyo componente fundamental es este mineral; no obstante, su origen también está

relacionado con las rocas metamórficas gneísicas, esquistos y rocas graníticas que afloran en las cuencas alta y media del área fuente, cuya composición mineralógica se asocia sobre todo al cuarzo, feldspatos y micas.

Con respecto a la distancia de transporte, los sedimentos del área en estudio han sido transportados desde el frente de montañas entre 100 y 300 km aproximadamente, hasta el sitio de su depositación en la cuenca baja; este factor influye en el desgaste físico-mecánico de las arenas, donde los minerales menos resistentes tienden a ser eliminados no solo por el transporte, sino también por la meteorización química como se verá más adelante; mientras que el cuarzo que es un resistato se mantiene como el mineral fundamental de la composición mineralógica de estas arenas. En otras palabras, la distancia de transporte contribuye a formar arenas composicionalmente más maduras como fue sugerido por Johnsson *et al.* (1988, 1991) y Johnsson (1990) para la cuenca del río Orinoco y los llanos de Colombia y Venezuela. Estos investigadores concluyeron que las arenas presentaban un marcado incremento de su madurez composicional con el aumento de la distancia con respecto al área fuente, por lo que clasificaron estas arenas como cuarzo-arenitas. En ese sentido, las arenas del río Portuguesa que provienen del orógeno reciclado producen progresivamente arenas más maduras, en la medida que el río Portuguesa y sus tributarios las transportan y las acumulan aguas abajo como depósitos de canal y en la planicie aluvial. Arenas maduras y de composición similar han sido reportadas para los llanos de Colombia y la cuenca amazónica (Franzinelli y Potter, 1983; Savage y Potter, 1991; Latrubesse y Franzinelli, 1998; Franzinelli e Igrega, 2002; Latrubesse y Stevaux, 2002).

Con respecto al último factor relacionado con la alteración de la composición de las arenas a través de la meteorización química, ésta va a depender tanto de la intensidad como de la duración de la meteorización (Johnsson, 1990). Este factor contribuye igualmente a la formación de arenas mineralógicamente más maduras que, según Johnsson *et al.* (1988), en un sistema fluvial como éste, se encuentran depositadas en los aluviones de los Llanos, por lo que sin excepción deben ser consideradas

cuarzo-arenitas. En general, las arenas analizadas en este estudio fueron depositadas temporalmente en el canal principal del río Portuguesa y sus tributarios como depósitos de barras de punta y barras laterales. Este almacenaje extendido del material, provee suficiente tiempo para que la meteorización química actúe y produzca arenas de composición más maduras o cuarzo-arenitas. En tal sentido, las arenas que han sido intensamente meteorizadas son reincorporadas a la carga del lecho del río durante la migración del canal, resultando en una disolución neta y reemplazamiento de arenas nuevas erodadas, por arenas más antiguas y de composición mineralógica más madura. En este proceso, la composición de las arenas cambia por la pérdida de componentes inestables con el incremento de la distancia desde el frente de montaña (Johnsson, 1990; Johnsson y Meade, 1990; Johnsson *et al.*, 1988, 1991).

Igualmente el río retoma, transporta, erosiona y retrabaja los sedimentos aluviales que se han acumulado previamente en los bancos y suelos,

donde la pedogénesis y los procesos de meteorización química alteran la composición original de los sedimentos, permaneciendo como componente esencial de estas arenas el mineral cuarzo, debido a su alto grado de resistencia a los procesos de erosión e intemperismo químico. Por otra parte, la presencia relativa de minerales como la clorita, muscovita, feldespatos y calcita, probablemente se relaciona con las rocas ígneo-metamórficas y calizas que constituyen al orógeno andino y la Cordillera del Interior. No obstante, el mineral calcita podría ser también de origen pedogenético. La fosfoferrita solo se encuentra en cuatro muestras de los sedimentos estudiados y se sugiere un origen antrópico asociado a la actividad agrícola que se desarrolla en la región.

Arcillas minerales

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las arcillas minerales identificadas y su localización se presenta en la Figura 2. Los resultados indican la presencia de 13 fases minerales cristalinas. En

Tabla 2. Análisis semicuantitativo de rayos X de la fracción arcillosa de los sedimentos estudiados

| Sedimentos | Profundidad (cm) | C | I | M | Ca | Mont. | V | Cl | G | Cal | D | N | Ch | Clin |
|--|------------------|-----|----|----|----|-------|----|----|----|-----|---|---|----|------|
| Paleomeandro Santos Gil | 0 – 17 | xxx | xx | x | x | tr | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| | 17 – 51 | xxx | xx | x | xx | - | x | x | - | - | - | - | - | - |
| Paleomeandro Santos Gil 1 | 0 – 30 | xxx | xx | x | xx | - | tr | tr | - | - | - | - | - | - |
| | 57 – 66 | xxx | xx | x | xx | - | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| Paleomeandro Santos Gil Orilla interna | 0 – 20 | xxx | xx | x | x | - | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| | 20 – 34 | xxx | xx | x | x | tr | tr | - | - | - | - | - | - | tr |
| | 1.70 – 1.90 | xxx | x | x | x | tr | tr | - | - | - | - | - | - | tr |
| Paleomeandro Jabonero | Superficial | xxx | x | x | xx | tr | tr | - | - | - | - | - | - | tr |
| | 0 – 19 | xxx | tr | tr | xx | tr | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| Paleomeandro Laguna Seca | 30 – 67 | xxx | x | x | x | - | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1.40 – 1.55 | xxx | x | x | xx | - | tr | tr | - | - | - | - | - | - |
| | 1.55 – 1.94 | xxx | xx | x | xx | tr | tr | - | - | - | - | - | - | tr |
| Paleomeandro Madre Vieja Tramo 1 | 0 – 29 | xxx | xx | xx | xx | x | tr | tr | - | - | - | - | - | - |
| | 29 – 60 | xxx | xx | xx | xx | tr | tr | - | - | - | - | - | - | tr |
| | 60 – 90 | xxx | xx | xx | x | tr | x | tr | - | - | - | - | - | - |
| | 90 – 1.25 | xxx | xx | xx | x | tr | x | - | tr | - | - | - | - | tr |

Tabla 2. Continuación

| Sedimentos | Profundidad (cm) | C | I | M | Ca | Mont. | V | Cl | G | Cal | D | N | Ch | Clin |
|--------------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-------|----|----|----|-----|----|----|----|------|
| Paleomeandro Madre Vieja Tramo 2 | 34 – 69 | xxx | xx | x | x | tr | x | tr | - | - | - | - | - | - |
| | 69 – 1.60 | xxx | x | x | x | tr | - | - | - | xxx | tr | - | - | tr |
| Paleomeandro Camaguán Orilla interna | 0 – 34 | xxx | tr | x | xx | tr | tr | tr | - | - | - | - | - | - |
| | 34 – 65 | xxx | tr | tr | xx | tr | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| | 65 – 96 | xxx | xxx | xx | xx | tr | tr | tr | - | - | - | - | - | - |
| Paleocanal Margen izq. | - | xxx | - | xx | xxx | tr | x | - | - | - | - | - | - | - |
| Paleocanal Laguna El Pao | - | xxx | - | tr | x | tr | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| Paleocanal Margen derecha | - | xxx | - | x | xx | tr | tr | tr | - | - | - | - | - | - |
| Arcilla superficial | - | xxx | tr | x | xx | tr | tr | - | tr | - | - | - | tr | tr |
| Arcilla de fondo | - | xxx | xx | xx | xx | x | tr | tr | - | - | - | - | - | - |
| Arcilla Nueva Florida | - | xxx | xx | xx | xx | - | x | xx | - | - | - | - | - | - |
| Arcilla de Fondo | - | xxx | x | xx | xx | - | x | - | - | - | - | - | - | tr |
| Pozo de la desgracia | - | xxx | x | xxx | xx | tr | tr | tr | - | x | - | - | - | - |
| Arcilla oxidada margen izq. | - | xxx | tr | x | xxx | tr | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| Arcilla de fondo | - | xxx | x | xx | xx | tr | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| Caño El Guamal | - | xx | x | x | x | tr | tr | - | - | - | - | - | - | - |
| Arcilla curva de meandro | - | xxx | x | xx | xx | tr | x | - | - | - | - | - | - | - |
| Arcilla laminar | - | xx | x | x | x | tr | tr | - | - | - | - | tr | - | - |

C: Cuarzo; I: Iilita; M: Moscovita; Ca: Caolinita; Mont.: Montmorillonita; V: Vermiculita; Cl: Clorita; G: Goetita; Cal: Calcita; D: Dolomita; N: Nontronita; Ch: Chavazita; Clin: Clinocloro.

xxx = muy abundante; xx = abundante; x = poco abundante; tr = trazas.

orden de abundancia existe la siguiente secuencia mineral: cuarzo > caolinita > ilita > muscovita > vermiculita > montmorillonitas > clorita > clinocloro. Las otras fases minerales detectadas en la DRX como la goetita, calcita, dolomita, ortosa y albita se encuentran en proporciones muy pequeñas o trazas en algunos de los sedimentos procesados. El patrón de los picos de intensidad en los difractogramas para los minerales primarios identificados

en la fracción arcillosa, se mantuvo relativamente en algunos de estos minerales. Así por ejemplo, el cuarzo se identifica por los mismos picos de intensidad que se observan en las arenas (3.3 y 4.2 Å). Sin embargo, cuando la muestra fue tratada con etelin-glicol y calentada a 550° C el pico de 4.2 Å del cuarzo, disminuyó considerablemente en todas las muestras analizadas. La ilita muestra un pico de mediana intensidad entre los 10 y 10.2 Å y se

presenta mayoritariamente en cantidades medianas a abundante en todos los tratamientos aplicados. La menor intensidad de este mineral se observa en el análisis de muestra total y con etelin-glicol, aumentando su intensidad cuando la muestra es calentada a 550° C. La muscovita se identifica en los difractogramas por los mismos picos e intensidades mostrados en las arenas (5.0 A°). El mineral ortosa se presenta en varias de las muestras de sedimento en trazas o pocas cantidades y se identifica por un pico de baja intensidad y difuso (3.2 A°) y la albita se presenta como traza y con una reflexión de baja intensidad (3.1 A°). La goetita se identifica por el pico de 4.2 A°, pero éste es enmascarado por el pico del cuarzo como ocurre para el caso de las arenas; la calcita, dolomita y nontronita se presentan como minerales poco abundantes y trazas en los difractogramas. La mejor reflexión se obtuvo para la calcita con un pico más intenso a los 3.0 A°, la dolomita es el carbonato que más se presenta en la mayoría de los difractogramas (3.2 A°), pero con una intensidad de reflexión muy baja, presentándose en pocas cantidades o trazas; la nontronita aparentemente se puede identificar en los difractogramas por el pico de 4.56 A°.

Para el caso de los minerales arcillosos secundarios, la caolinita se identifica con el pico de intensidad de 7.1 A° y es el mineral más común y abundante, en algunos difractogramas se detectó en 7.2 A°. Al ser tratadas con el etelin-glicol el tamaño del pico disminuye y al calentarlas a 550° C se produce el colapsamiento de la estructura cristalina de este mineral. Las otras arcillas, vermiculita y montmorillonita, presentan picos de baja intensidad (14.3-14.9 y 15-19.3 A°, respectivamente) lo que dificulta su identificación. La señal de estos minerales en los difractogramas se observa con una intensidad muy baja solo en el análisis de muestra orientada o total, al ser procesadas con los otros tratamientos se produce el colapsamiento de la estructura cristalina.

Con respecto al cuarzo, este mineral sigue siendo el más abundante en la fracción arcillosa al igual que en las arenas, independientemente de los tratamientos aplicados a la muestra (Tabla 2). Estos resultados coinciden con los reportados para algunos suelos aluviales de los Llanos centro-

occidentales y de Apure (Malagón *et al.*, 2004; Guerrero *et al.*, 2009). La persistencia del cuarzo en la fracción arcillosa puede explicarse por diversas razones; una se debe a que este mineral es de origen detrítico y resistente a los procesos de erosión y meteorización química y proviene esencialmente de la alteración físico-mecánica y erosión de las rocas que conforman el área fuente y del material re TRABAJADO por el río Portuguesa y sus tributarios. Otra razón sería la alteración de los minerales menos estables en los sedimentos almacenados en la planicie aluvial, los cuales han sido removidos durante la migración del canal.

Para el caso de la muscovita, también de origen detrítico, se asocia con los procesos de erosión y transporte que trasladan este mineral a grandes distancias, depositándolo en la planicie aluvial donde persiste a pesar de la meteorización química. La illita y la clorita son minerales frecuentemente abundantes en suelos y sedimentos de las regiones frías y secas, donde se asocian con procesos de erosión y meteorización mecánica (Keller, 1970; Singer, 1980, 1984; Thiry, 2000; Guyot *et al.*, 2007), pero en los ambientes tropicales de este trabajo la presencia de la illita puede relacionarse con las etapas tempranas de meteorización de la muscovita, mientras que la clorita proviene de la desagregación de la clorita primaria o preexistente en las rocas metamórficas y máficas de las cordilleras de Los Andes y el Interior, por lo que se sugiere también un origen detrítico para este mineral.

La caolinita, que es la arcilla más abundante en los sedimentos estudiados (Tabla 2), es característica de suelos y sedimentos muy meteorizados de ambientes altamente lavados y relativamente ácidos de las regiones tropicales (Islam y Lotse, 1986). Su neoformación es favorecida frente a otras asociaciones arcillosas por el hecho de que solo requiere de Si y Al como constituyentes esenciales (Porta *et al.*, 1999). El origen de esta arcilla pudiese estar asociado a los suelos desarrollados en la planicie aluvial. En investigaciones previas realizadas en suelos de los Llanos de Apure y Portuguesa, se ha reportado para la fracción arcillosa la presencia de caolinita como el mineral más dominante en esos suelos (Malagón *et al.*, 2004; Guerrero *et al.*, 2009). No obstante, la caolinita también pudiera

ser retomada de depósitos más antiguos debido a que un alto porcentaje de los sedimentos provienen de la alteración de las rocas del Terciario y depósitos pleistocénicos del piedemonte andino llanero y central que contienen a este mineral. Igualmente, la caolinita puede provenir de la erosión lateral de otros depósitos como los suelos y bancos desarrollados en la planicie de inundación (Johnsson y Meade, 1990; Guyot *et al.*, 2007).

Con respecto a la vermiculita, ésta puede haberse originado de la alteración de minerales micáceos como la clorita en un medio rico en Mg^{+2} (Adams y Kassim, 1983; Besoain, 1985; April *et al.*, 1986; Argast, 1991; Birkeland, 1999; Nanzyo *et al.*, 2001). No obstante, Malagón *et al.* (2004) sugirieron que el origen de este mineral en los Llanos de Apure pudiese estar relacionado con la alteración de la illita. Por su parte, Johnsson y Meade (1990) reportan la presencia de vermiculita en unos sedimentos fluviales de la cuenca amazónica y sugieren que la vermiculita puede resultar de la meteorización incompleta de minerales micáceos precursores; en este estudio, esa mica precursora podría ser la illita que es la de mayor abundancia en la fracción arcillosa y de la clorita, que se encuentra en menor proporción en los sedimentos analizados. El origen de las montmorillonitas o esmectitas puede ser variado, aunque algunos investigadores lo han asociado con climas áridos y semi-áridos (Singer, 1980; Thiry, 2000; Marinoni *et al.*, 2008). En otras investigaciones, esta arcilla ha sido reportada como un mineral abundante en sedimentos de ambientes tropicales húmedos y de alta meteorización química (Jha *et al.*, 1993; Heroy *et al.*, 2003; Guyot *et al.*, 2007). Birkeland (1999) ha señalado que su formación puede ser el resultado de la transformación de la hidrómica (illita). También pueden proceder de materiales transportados que la contengan al igual que la vermiculita, o bien puede haberse neoformado en suelos ricos en sílice, magnesio y hierro, en condiciones de topografía baja y mal drenaje (April *et al.*, 1986; Thiry, 2000). En las rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios que constituyen el área fuente no se ha reportado la presencia de monmorillonitas, sin embargo, los tributarios del río Portuguesa cruzan la Cordillera del Interior y cortan afloramientos de rocas ígneas

máficas y metavolcánicas, que proveen elementos químicos como el Ca, Fe y Mg, cuya síntesis mineralógica, asociadas a las condiciones de la planicie de inundación del río Portuguesa, con condiciones de topografía baja y mal drenaje, favorecerían la formación de esta arcilla mineral.

Finalmente, es necesario destacar la influencia que ha tenido el clima en la evolución mineralógica de los depósitos sedimentarios reportados en esta investigación. En relación con la procedencia y composición de arenas de depósitos fluviales, se ha comparado y analizado la influencia del clima (subhúmedos y semiáridos) sobre el área fuente y la formación de fragmentos de rocas y arenas fluviales (Suttner y Basu, 1981; Hummon y Velbel, 1987). Igualmente, se ha intentado establecer la relación que existe entre la composición de arenas fluviales holocénicas derivadas de rocas graníticas y su interpretación paleoclimática (Basu, 1976). En ese sentido, en la planicie aluvial del río Portuguesa fue reportada la presencia de un suelo sódico-alcalino (Natraquals) y aparentemente el material original que dio origen al mismo, se formó inicialmente a partir de materiales producidos por la alteración físico-mecánica generada por la actividad glacial en los Andes venezolanos, durante el Pleistoceno Tardío. Posteriormente, durante el Holoceno más húmedo y cálido, estos materiales fueron acarreados y depositados en la planicie aluvial donde los procesos de intemperismo químico de los silicatos sódicos, provenientes de la alteración de las rocas cristalinas de la cordillera andina, dieron origen al horizonte nátrico que caracteriza a este suelo (González *et al.*, 2009).

En ese orden de ideas, es probable que las arenas del cauce principal y la planicie aluvial del río Portuguesa hayan tenido un origen similar, sobre todo aquellas que provienen de la cuenca alta de este río, ya que existen evidencias claras de actividad glacial en la misma asociadas a la presencia de morrenas y depósitos fluvio-glaciales (Bezada, 1990); por supuesto, no se debe descartar que las arenas también provienen de la alteración físico-mecánica de las rocas sedimentarias (areniscas, lutitas y conglomerados) del Cenozoico y el Terciario, debido a la poca cobertura vegetal y el clima árido que imperaba durante el Pleistoceno Tardío en la región.

Condiciones similares debieron presentarse para la Cordillera del Interior, a pesar de que esta región no fue afectada directamente por los procesos de glaciación comentados anteriormente. Durante el Holoceno Temprano, Medio y Tardío, al incrementarse las precipitaciones y temperaturas, las arenas fueron sometidas a un proceso de meteorización que condujo a la descomposición y desintegración de los minerales menos estables como los feldspatos (ortosa y albita) y las micas (muscovita y clorita), entre otros, permaneciendo el cuarzo como mineral residual. Esta sería la razón fundamental que explicaría el hecho de que se consideren arenas maduras, similares a las cuarzo-arenitas.

En el caso de las arcillas minerales, éstas han sido utilizadas ampliamente como indicadoras de cambios climáticos en suelos y sedimentos de edad Cuaternario (Singer, 1980, 1984). Según Birkeland (1999), las arcillas más útiles para valorar la influencia del clima en un suelo o sedimento son la caolinita, montmorillonita y palygorskita. Anteriormente se indicó que la arcilla más abundante detectada en los sedimentos de la planicie de inundación, fue la caolinita. Estos sedimentos fueron datados por OSL y las edades obtenidas en ellos fluctúan entre 10.990 ± 2850 y 450 ± 190 ka A.P. (González, 2013). Esto significa que los sedimentos se depositaron desde el Holoceno Temprano al Tardío, bajo condiciones climáticas tropicales más húmedas iguales o similares a las actuales. Por tanto, esto explicaría la abundancia de caolinita en estos sedimentos debido a que esta arcilla es estable bajo estas condiciones climáticas. Posiblemente la caolinita se asocie con procesos de pedogénesis que afectaron a los sedimentos durante su almacenamiento temporal en la planicie de inundación, o debido a la posible alteración que experimentaron estos depósitos relativamente distantes del cauce principal del río Portuguesa, al ser abandonados durante el proceso de migración del canal durante el Holoceno. Otra hipótesis, como ya se ha mencionado, es que sea heredada de algunas de las formaciones sedimentarias del Mio-Plioceno que afloran en el piedemonte, como la Formación Río Yuca que según González de Juana *et al.* (1980), contiene entre otros minerales cuarzo, muscovita y caolinita.

Para el caso de la montmorillonita y la vermiculita, estas arcillas al parecer también se formaron por la influencia combinada de las condiciones húmedas que caracterizaron al Holoceno y las de un relieve plano y mal drenado que caracteriza a la planicie aluvial. Al respecto, hay que señalar que algunos autores han asociado el origen de la montmorillonita con condiciones áridas y semiáridas (Singer, 1984), mientras que otros autores reportaron una composición mineralógica similar para las arcillas en sedimentos fluviales de las planicies de inundación de los ríos Ganga y Brahmaputra, respectivamente, y asociaron ese ensamblaje arcilloso con las condiciones húmedas tropicales del Holoceno (Heroy *et al.*, 2003 y Pal *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

El análisis semi-cuantitativo de DRX en la fracción arenosa reveló la presencia de cuarzo muscovita, calcita, feldspatos, clorita y clinocloro, entre otros. De estos minerales, el más abundante es el cuarzo, mientras que los otros se presentan en trazas o pocas cantidades. El origen de estos minerales se asocia en primer lugar con el área fuente de los sedimentos, la cual está constituida esencialmente por rocas sedimentarias detríticas del Cretáceo y Cenozoico, que contienen abundante cuarzo. No obstante, la presencia de rocas metamórficas esquistosas, graníticas y máficas, que afloran en el área en estudio, pudieron contribuir como área fuente de estos sedimentos. En segundo lugar, la distancia de transporte en relación con el área fuente (100 a 300 km) contribuyó al desgaste y desintegración física de la mayoría de los minerales, lo que condujo a la formación de sedimentos más maduros con predominio del cuarzo, sobre los otros minerales reportados. En tercer lugar, la intensidad de los procesos de meteorización química en los sedimentos almacenados en la planicie de inundación, contribuyó con la meteorización de la mayoría de los minerales y con la formación de arenas cuarzosas más maduras o similares a las cuarzo-arenitas. Desde el punto de vista paleoclimático, estas arenas inicialmente pudieron originarse a partir de la alteración físico-química de las rocas que conforman ambas

cordilleras durante el Pleistoceno Tardío, que se caracterizó por la existencia de condiciones climáticas áridas o semiáridas y baja cobertura vegetal; mientras que durante el Holoceno con condiciones ambientales más cálidas y húmedas, los sedimentos depositados en la planicie aluvial experimentaron procesos más intensos de meteorización química, que descompusieron a la mayoría de los minerales, permaneciendo el cuarzo como un mineral residual en los sedimentos.

En la fracción arcillosa se identificaron 13 fases cristalinas caracterizadas mayormente por la presencia de cuarzo y caolinita como los minerales más abundantes en los sedimentos y por proporciones muy bajas de minerales como la ilita, muscovita, montmorillonita, clorita, clinocloro, calcita, goetita y dolomita. Se postula un origen detrítico para los minerales primarios como el cuarzo, feldspatos, muscovita, clorita e ilita, que persisten en esta fracción y que resultaron inicialmente de la meteorización físico-mecánica de las rocas del área fuente y las posteriores transformaciones experimentadas por la alteración química en la planicie de inundación. Las arcillas propiamente dichas como la caolinita, montmorillonita y vermiculita, pueden ser en parte de origen detrítico y también ser arcillas originadas por procesos de neoformación, asociados a los procesos de alteración química de los minerales micáceos como la clorita e ilita, ocurridos en los suelos y sedimentos de la planicie aluvial. El origen de estas arcillas se relaciona con el área fuente, con mayores condiciones de humedad y alteración química de los minerales durante el Holoceno Temprano al Tardío.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Vicerrectorado de Investigación y Posgrado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) por haber financiado este proyecto de investigación (N° de Registro 07-065), el cual forma parte de la Línea de Investigación Pedología y Estudios del Cuaternario en Venezuela y su relación con los Cambios Climáticos Globales.

REFERENCIAS

- Adams, W. A. and J. K. Kassim (1983), "The origin of Vermiculite in Soils developed from Lower Palaeozoic Sedimentary Rocks in Mid Wales", *Soil Science Society American Journal*, vol. 47, pp. 316-320.
- April, R. H., M. M. Hluchy and R. M. Newton (1986), "The nature of vermiculite in Adirondack soils and till", *Clays and Clay Minerals*, no. 5, pp. 549-556.
- Argast, S. (1991), "Chlorite vermiculitization and pyroxene etching in an aeolian periglacial sand dune, Allen County, Indiana", *Clays and Clay Minerals*, vol. 39, no. 6, pp. 622-633.
- Basu, A. (1976), "Petrology of Holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks: implications to paleoclimatic interpretation", *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 46, no. 3, pp. 694-709.
- Bellizia, G. A., M. N. Pimentel and O. R. Bajo (1976), Mapa geológico estructural de Venezuela, escala 1:500.000, 30 láminas.
- Besoain, E. (1985), *Mineralogía de arcillas de suelos*, Editado por Bib. Orión IICA/CATIE.
- Bezada, M. (1990), *Geología glacial del Cuaternario de la región Santo Domingo-Pueblo Llano-Las Mesitas (estados Mérida y Trujillo)*, tesis Doctoral no publicada, IVIC.
- Birkeland, P. W. (1999), *Soils and Geomorphology*, Third Edition, Oxford University Press, New York.
- Bouyoucos, G. J. (1962), "Hydrometer method improved for making particule size analysis of soils", *Agronomy Journal*, no. 54, pp. 464-465.
- Chakrapani, G. J., V. Subramanian, R. J. Gibbs and P. K. Jha (1995), "Size characteristics and mineralogy of suspended sediments of the Ganges River, India", *Environmental Geology*, no. 25, pp. 192-196.
- Datta, D. K. and V. Subramanian (1996), "Texture and mineralogy of sediments from the Ganges-Brahmaputra-Meghna river system in the Bengal Basin, Bangladesh and their environmental implications", *Environmental Geology*, vol. 30, no. 3/4, pp. 181-188.
- Franzinelli, E. and P. E. Potter (1983), "Petrology, chemistry, and texture of Modern River sands Amazon River system", *Journal of Geology*, vol. 91, pp. 23-39.
- Franzinelli, E. and H. Igrega (2002), "Modern sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brasil", *Geomorphology*, no. 44, pp. 259-271.
- González, O. (2013), *Análisis de la dinámica fluvial del río Portuguesa durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno, Llanos centro-occidentales venezolanos*, trabajo de Grado (Doctor en Ciencias de la Ingeniería), Universidad Central de Venezuela, Venezuela.
- González de Juana, C., J. M. Iturralde de Arocena y X. Picard (1980), *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*, tomos I y II, Ediciones Foninves, Caracas.

- Guerrero Alves, J. P., I. Pla-Sentís y A. Valera (2009), "Caracterización morfológica, física, química, mineralógica y génesis de un pedón sódico alcalino ubicado en Papelón, estado Portuguesa", *Agronomía Tropical*, vol. 59, núm. 2, pp. 189-205.
- Guyot, J. L., J. M. Jouanneau, L. Soares, G. R. Boaventura, N. Maillet and C. Lagane (2007), "Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin", *Catena*, no. 71, pp. 340-356.
- Heroy, D. C., S. A. Kuehl y S. L. Goodbred Jr. (2003), "Mineralogy of the Ganges and Brahmaputra rivers: implications for river swithing and late Quaternary climate change", *Sedimentary Geology*, vol. 155, pp. 343-359.
- Hummon, G. J. and M. A. Velbel (1987), "The influence of climate and topography on rock-fragment abundance in modern fluvial sands of the Southern Blue Ridge Mountains, North Carolina", *Journal of Sedimentary Petrology*, no. 2, pp. 219-227.
- Islam, A. K. M. E. and E. G. Lotse (1986), "Quantitative mineralogical analysis of some Bangladesh soils with X-ray, ion exchange and selective dissolution techniques", *Clay Minerals*, no. 21, pp. 31-43.
- Jha, P. K., P. Vaithyanathan and V. Subramanian (1993), "Mineralogical characteristics of the sediments of Himalayan river: Yamuna river- a tributary of the Ganges", *Environmental Geology*, no. 22, pp. 13-20.
- Johnsson, M. J. (1990), "Tectonic versus chemical-weathering controls on the composition of fluvial sands in tropical environments", *Sedimentology*, no. 37, pp. 713-726.
- Johnsson, M. J., R. F. Stallar and R. H. Meade (1988), "First-cycle quartz arenites in the Orinoco river Basin, Venezuela and Colombia", *The Journal Geology*, vol. 96, no. 3, pp. 263-277.
- Johnsson, M. J. and R. H. Meade (1990), "Chemical weathering of fluvial sediments during alluvial storage: the Macuapanim Island point bar, Solimoes river, Brasil", *Journal of Sedimentary Geology*, vol. 60, no. 6, pp. 827-842.
- Johnsson, M. J., R. F. Stallar and N. Lundberg (1991), "Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering environment: Sands of Orinoco river drainage basin, Venezuela and Colombia", *Geological Society of America Bulletin*, vol. 103, pp. 1622-1647.
- Keller, W. D. (1970), "Environmental aspect of clay minerals", *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 40, no. 3, pp. 788-854.
- Latrubesse, E. M. and E. Franzinelli (1998), "Late Quaternary Alluvial Sedimentation in the Upper Río Negro Basin, Amazonia, Brasil: palaeohydrological implications", in Benito, G., V. R. Baker and K. J. Gregory (eds.), *Palaeohydrological and Environmental Change*, John Wiley & Sons Ltd., pp. 259-271.
- Latrubesse, E. M. and J. C. Stevaux (2002), *Geomorphology and environmental aspect of the Araguaia fluvial basin, Brazil*. *Z. Geomorph.*, NF. Suppl Bd. 129, pp. 109-127.
- Malagón, D. (1979), *Fundamentos de mineralogía de suelos*, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Mérida (Venezuela).
- Malagón, D., G. Ochoa y J. Oballos (2004), "Caracterización físico-química mineralógica y génesis de suelos de planicies cuaternarias, región sur de San Fernando de Apure, Venezuela", *Agrochimica*, vol. XLVIII, núm. 1-2, pp. 25-41.
- MARNR (2006), *Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica* (SINAIHME), Dirección de Hidrología y Meteorología, Caracas.
- Marinoni, L., M. Setti, C. Salvi and A. López Galindo (2008), "Clay minerals in late Quaternary sediments from the south Chilean margin as indicators of provenance and palaeoclimate", *Clay Minerals*, no. 43, pp. 235-253.
- MOP (1969), *Cuenca del río Portuguesa. Estudio Preliminar para el Aprovechamiento Integral de los Recursos Hidráulicos*, República de Venezuela, Ministerio de Obras Públicas, División de Planeamiento, Sección de Investigación de Proyectos.
- Nanzyo, M., H. Tsuzuki, H. Oztuka and S. Yamasaki (2001), "Origin of clay-size vermiculite in sandy volcanic ash soils derived from modern Pinatubo Lahar deposits in Central Luzon, Philippines", *Clay Science*, no. 17, pp. 381-390.
- Pal, D. K., T. Bhattacharyya, R. Sinha, P. Srivastava, A. S. Dasgupta, P. Chandran, S. K. Ray, and A. Nimje (2012), "Clay minerals record from Late Quaternary drill cores of the Ganga Plains and their implications for provenance and climate change in the Himalayan foreland", *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 356-357: 27-37.
- Porta, J., M. López Acevedo y C. Roquero (1999), *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*, 2ª. ed., Ediciones Mundi-Prensa Libros, México.
- Potter, P. E. (1978), "Petrology and chemistry of modern big river sands", *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 86, pp. 423-429.
- Savage, K. M. and P. E. Potter (1991), "Petrology of modern sands of the rivers Guaviare and Inirida, southern Colombia: tropical climate and sand composition", *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 99, pp. 289-298.
- Shagan, R. (1972), "Andean research project, Venezuela: principal data and tectonic implications", in Shagan, R. (ed.), *Studies in earth and space sciences: Geol. Soc. America Mem.*, vol. 132, pp. 449-643.

- Singer, A. (1980), "The paleoclimatic interpretation of clay minerals in soil and weathering profiles", *Earth-Science Reviews*, no. 15, pp. 303-326.
- Singer, A. (1984), "The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments- a review", *Earth-Science Reviews*, no. 21, pp. 251-293.
- Suttner, L. J. and A. Basu (1981), "Climate and the origin of quartz arenitas", *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 51, no. 4, pp. 1235-1246.
- Srivastrava, P., B. Parkash and D. K. Pal (1998), "Clay minerals in soils as evidence of Holocene climatic change, central Indo-Gangetic Plains, North-central India", *Quaternary Research*, no. 50, pp. 230-239.
- Thiry, M. (2000), "Paleoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin", *Earth-Science Reviews*, no. 49, pp. 201-221.