

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE UN SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL SECTOR NORORIENTAL DE VENEZUELA

MARÍN-JIMÉNEZ, FERNANDO^{*1}, GUTIÉRREZ-VELÁSQUEZ, ARGELIA² & MARCANO-LÁREZ, DAYANA³

¹ *Postgrado en Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. *Autor de correspondencia: marinjimenezfernando@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8020-9397>*

² *Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”, Cumaná, Venezuela. gutierrezargelia23@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-2460-3619>*

³ *Postgrado en Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. dayanamarcanol@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-6953-3107>*

RESUMEN: El río Manzanares es un ecosistema que ha mostrado un crecimiento poblacional exacerbado en las últimas décadas, lo que pudiera influir en la capacidad de retención de especies químicas inorgánicas en sus sedimentos, sirviendo como posible sumidero de estos materiales. Para comprender con certeza cuán rápido estas especies pueden acumularse, es importante conocer las características de los sedimentos de fondo a lo largo de la cuenca hidrográfica. Para ello, se realizó un análisis granulométrico a 29 muestras recolectadas durante cinco años (2017-2022) en periodos de sequía, distribuidas en las tres subcuencas (Alta, Media y Baja) de este río, aplicándose la técnica de separación en húmedo, se estableció el tipo de grano predominante y se clasificó usando el triángulo de Sheppard. En la subcuenca alta, se determinó que el porcentaje de arenas finas osciló entre 1,69% y 45,37% en la estación río Aricagua; en la cuenca media, predominaron las arenas finas en todas las estaciones muestreadas, variando desde 4,75% hasta 40,84% en la estación ubicada en las areneras y en la cuenca baja fueron principalmente arenas finas y muy finas, diferenciándose las estaciones 23 y 24 correspondientes al puente González de Ocampo y la empresa AVECAISA respectivamente, donde se verificó la presencia de lodos. Las características de los sedimentos de este ecosistema se describen como arenosos, excepto en la subcuenca baja donde por procesos naturales hay presencia de lodos.

Palabras Clave: Cuenca del Manzanares, sedimentos, granulometría, Nororiente de Venezuela

ABSTRACT: The Manzanares River is an ecosystem that has experienced significant population growth in recent decades. This growth could influence in the retention capacity of inorganic chemical species in its sediments, potentially serving as a sink for these materials. To understand how rapidly these species can accumulate, it's essential to study the characteristics of the river sediments throughout the watershed. In this study, granulometric analysis was conducted on 29 sediment samples collected over five years (2017-2022) during dry periods. These samples were distributed across the three sub-basins (Upper, Middle, and Lower) of the river. The wet separation technique was applied to determine the predominant grain type, and classification was done using the SHEPPARD triangle. Here are the findings: In the Upper sub-basin, the percentage of fine sands ranged from 1.69% to 45.37% at the Aricagua station. In the Middle basin, fine sands predominated in all sampled stations, varying from 4.75% to 40.84% at the sand pits station. In the Lower basin, sediments were primarily composed of fine and very fine sands. Notably, stations 23 (González de Ocampo Bridge) and 24 (AVECAISA company) exhibited the presence of mud due to natural processes. Overall, the sediment characteristics in this ecosystem are described as sandy, except in the Lower sub-basin, where natural processes lead to mud presence.

Keywords: Manzanares basin, sediments, granulometry, northeastern Venezuela.

INTRODUCCIÓN

Los ríos son de importancia tanto ecológica como económica para la sociedad. Sin embargo, sus aguas son bastante vulnerables a la contaminación porque son naturalmente abiertas, de fácil acceso y se utilizan sustancialmente en los procesos agrícolas, industriales y municipales (MÁRQUEZ *et al.* 2019). Una de las maneras de evaluar la polución en estos cuerpos de agua es a través de los estudios fisicoquímicos y biológicos de los sedimentos fluviales al ser el resultado de la deposición de partículas, las cuales pueden

traer consigo materiales de las rocas, tales como minerales, metales pesados, materia orgánica, entre otras sustancias. Debido a que estos materiales interaccionan constantemente con la masa de agua, se les puede considerar como un medio disponible para evaluar e identificar fuentes de contaminación, no solo porque generan una perspectiva acerca del grado de contaminación por medio de entradas naturales, sino también porque ofrecen información acerca de la influencia que ejerce la contaminación inducida por las actividades (FILGUEIRAS *et al.* 2002; NASER *et al.* 2016).

Los sedimentos son el producto de la acumulación de detritus provenientes de procesos dinámicos en la superficie como la meteorización física (o mecánica) y química de rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias (PINET 2019), así como de procesos de transporte que incluyen erosión de montañas y colinas mediante la acción de la gravedad, vientos y corrientes de agua, los cuales son depositados en el fondo de los ríos, lagos, mares y océanos (CAICEDO 2022). La transferencia y movilización de estos materiales conllevan un proceso continuo a lo largo de la cuenca, como resultado de las características hidroclimáticas, litológicas, edafológicas y vegetación, así como de los procesos biofísicos que tienen lugar en la misma generación de sedimentos, sin embargo, las actividades humanas como presas, intervenciones en el cauce como la construcción de escolleras, las extracciones de arenas y otros procesos, como los cambios en los usos del suelo de la cuenca, alteran esta transferencia de sedimentos aguas abajo (BÉJAR *et al.* 2018).

Los depósitos fluviales constituyen un registro histórico de los procesos sedimentarios y de las condiciones ambientales del pasado, por consiguiente, cualquier cambio en el transporte y en las propiedades de los sedimentos puede generar cambios significativos en estos sistemas (FERRER 2018). Esto depende principalmente de cuatro factores: hidrológicos (como las entradas fluviales y subterráneas, estabilidad del agua y velocidad de la corriente, los tiempos de residencias y los flujos de inundación), morfométricos (incluyendo batimetría, los canales principales y secundarios, la rugosidad del fondo, la morfología externa, los taludes, pendiente, islas, entre otros), biológicos (tales como la vegetación dominante, su disposición con respecto al flujo principal, el áreas cubierta, el tipo de crecimiento, su estacionalidad, biomasa y estado trófico) y geoquímicos (abordando los aniones y cationes presentes en el agua, la materia orgánica, las condiciones fisicoquímicas, los materiales presente en la zona la granulometría, las transformaciones postdeposicionales y las mineralizaciones) (FLÓREZ *et al.* 2018). En este contexto, las características de los sedimentos en acumulación indican la predominancia de ciertos factores sobre otros, revelando la dinámica de sedimentación y los efectos que la acumulación de materia tiene en la transformación y evolución del ecosistema (VARÓN *et al.* 2022).

La mayoría de los ríos transportan aproximadamente el 90% de su carga sedimentaria hacia la zona costera (SYVISTKI *et al.* 2005). Se estima que alrededor del 95% de los sedimentos disponibles en la costa provienen de estas fuentes, ya sea como carga de fondo, en suspensión o arrastrados por el agua y otras fuentes (PICCOLO & PERILLO 2000). La carga de sedimentos podría ocasionar perturbaciones significativas en los ecosistemas acuáticos, afectando directamente a los organismos e indirectamente al hábitat físico (WOOD & ARMITAGE 1997; JONES *et al.* 2012). Específicamente, en el caso de los sedimentos más finos, tienden a acumularse aguas abajo, alterando las características del sustrato y disminuyendo la capacidad de refugio para las especies, así como los niveles de oxígeno disuelto. Además, estos sedimentos pueden desencadenar cambios en la composición química del agua (PRETTY *et al.* 2006; BUENDÍA *et al.* 2011; BÉJAR *et al.* 2018).

El río Manzanares es uno de los sistemas hídricos del Caribe Nororiental con más importancia para el estado Sucre, Venezuela. Analizar sus características granulométricas y texturales para definir las propiedades geoquímicas de los sedimentos permite comprender el impacto de algunos contaminantes asociados a este ecosistema, así como la dinámica sedimentaria en este cuerpo de agua. Algunos de los estudios en sedimentos en cuencas hidrográficas y recursos hídricos son los realizados por BÉJAR *et al.* (2018), SALAZAR *et al.* (2018), MÁRQUEZ *et al.* (2019), CAICEDO (2022), GUTIÉRREZ (2022), GÓMEZ *et al.* (2023), quienes evaluaron la calidad ambiental tanto en agua como sedimentos de ecosistemas fluviales.

La región que ocupa la cuenca del río Manzanares ha presentado un crecimiento demográfico significativo en sus cuencas medias y bajas (INE 2021), lo que ha traído consigo un aumento considerable en la descarga de sustancias orgánicas e inorgánicas, generadas por las diferentes actividades realizadas por sus pobladores destacándose los procesos agrícolas, industriales, municipales, así como las descargas de aguas residuales (LU *et al.* 2018).

El impacto de las actividades antropogénicas sobre el medio ambiente podrá ser evaluado mediante el análisis de los sedimentos, dada la estabilidad relativa de los ambientes sedimentarios (XIA *et al.* 2011). Este análisis puede proporcionar una visión integrada de los procesos ambientales, la contaminación y sus efectos a lo largo del tiempo (LANGSTON *et al.* 2010; XIA *et al.* 2011; MARCOVECCHIO & FREJE 2013). Por lo tanto, el estudio del transporte de sedimentos y la morfodinámica fluvial es importante para avanzar en su conocimiento y generar metodologías adecuadas para el planeamiento, diseño, construcción, operación y mantenimiento de obras de ingeniería fluvial, cuyos propósitos son el control y/o aprovechamiento, gestión y preservación de los recursos hídricos (BASILE 2018). En este contexto, se propone realizar un análisis de los sedimentos del río Manzanares, cuerpo de agua clave del sistema hidrográfico del Nororiente de Venezuela para comprender su textura y distribución en toda su cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca del río Manzanares está ubicada en el estado Sucre, Venezuela (Fig. 1), tiene su nacimiento en el macizo montañoso del Turimiquire, en la cordillera de la costa, a 2300 m de altitud. Fluye a lo largo de 300 km y drena una cuenca de poco más de 1000 km². Este río conjuntamente con los ríos Neverí y

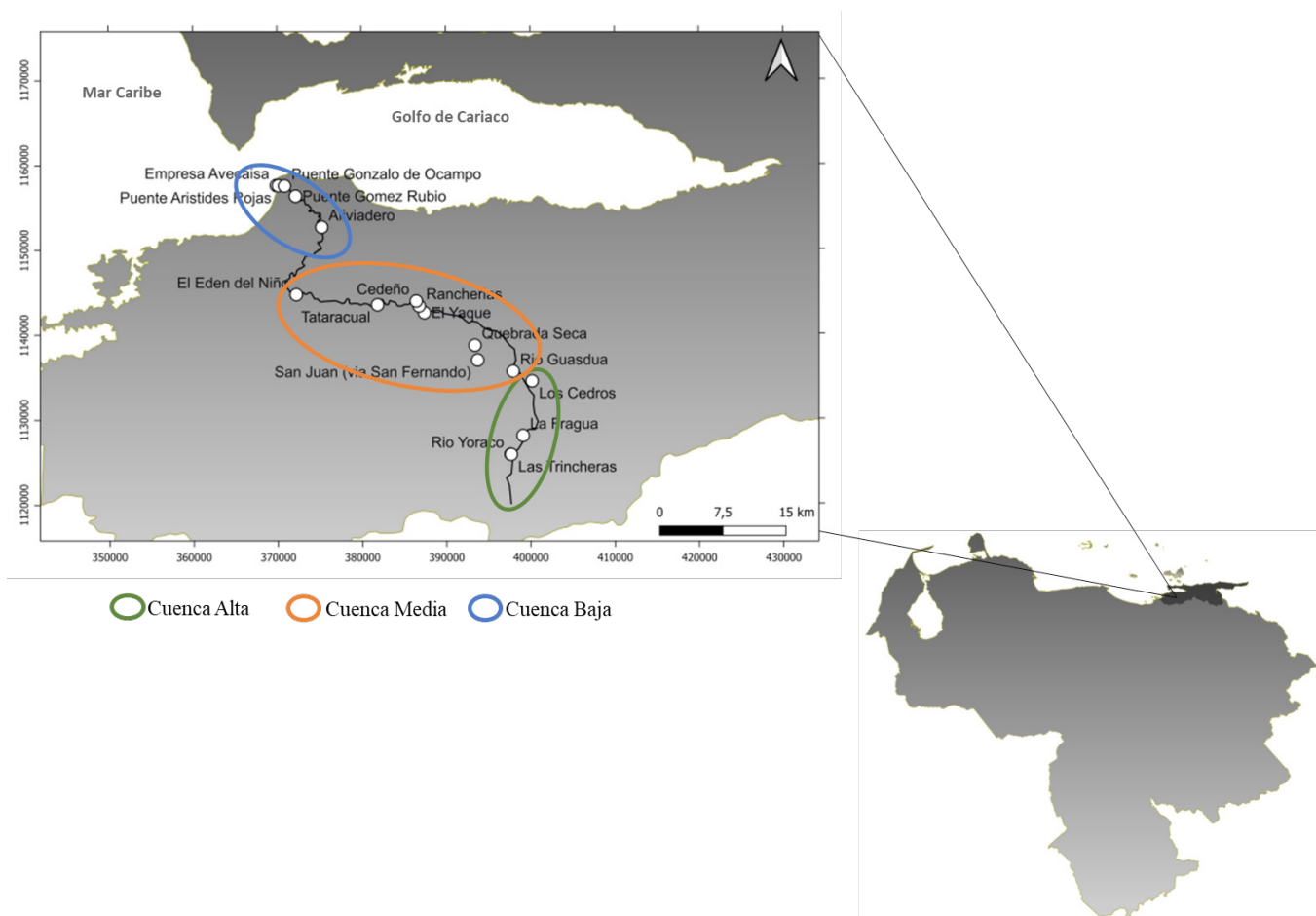


Fig. 1. Ubicación geográfica de las estaciones en el sector nororiental de Venezuela (cuenca alta, media y baja del río Manzanares).

Guarapiche, integra el sistema fluvial de la costa oriental venezolana (GUTIÉRREZ 2022), El cauce tiene una longitud de 81 km, posee una pendiente mínima de 15% y un gasto medio de 1,23 m³/s con una descarga estimada en 600 x 10⁶ m³/año, la cual se ha ido incrementado (más del 20 %) a 771 x 10⁶ m³ al año (MÁRQUEZ 2003; SALAZAR *et al.* 2018). A lo largo de su trayecto, el río irriga tierra de diversos poblados con una alta dedicación agrícola, como Cumanacoa, San Salvador, Arenas, San Lorenzo y Quebrada Seca, favorecido porque recibe por su margen derecho 9 ríos y 13 riachuelos y quebradas, y por su margen izquierdo 14 ríos principales y 6 secundarios. El aporte medio anual del sistema hidrográfico del Manzanares al mar se estimó en 558x10⁶ toneladas de agua, la cual se reparte entre su desembocadura original y la zona del aliviadero, donde se produce una importante sedimentación (AGUILERA *et al.* 1987; GUTIÉRREZ 2022).

La cuenca hidrográfica del Manzanares se subdivide en tres subcuencas: cuenca alta, la cual está comprendida desde su nacimiento hasta río Aricagua; la cuenca media, desde río Aricagua hasta Puerto la Madera y la cuenca baja, desde Puerto de la Madera hasta su desembocadura en la entrada del Golfo de Cariaco, ejerciendo una gran influencia hacia el lado oeste de la margen costera donde se ubica la ciudad de Cumaná, la cual se encuentra ubicada entre los 10° 24' y 10° 30' Lat. Norte y 64° 10' y 64° 20' Long. Oeste (GUTIÉRREZ 2022).

Recolección de muestras

Se establecieron veintinueve (29) estaciones a lo largo de las cuencas alta, media y baja, georeferenciadas con un equipo GPS Garmin mod. Oregon 450, siendo importante señalar que, las últimas 5 muestras en la cuenca baja, representan un gradiente de salinidad entre 2 (salinidad más baja) y 36 (salinidad marina) (TABLA 1) y se muestrearon durante 5 años en los períodos de sequía. Para recolectar sedimentos en la subcuenca alta, se utilizaron dragas y palas, mientras que en las subcuencas media y baja se emplearon tubos de PVC de 50 cm de longitud y dos pulgadas de diámetro, cortados transversalmente (MIRAMONTES *et al.* 1997). Luego, las muestras se extrajeron, homogenizaron y se colocaron en bolsas plásticas individuales, registrando los números de identificación y etiquetas correspondientes. Inmediatamente, se almacenaron bajo refrigeración a una temperatura aproximada de -20°C para evitar alteraciones en sus características originales por acción de microorganismos o degradación de sus elementos constitutivos, hasta su traslado al laboratorio de Tratamiento de Aguas de la Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián” para su posterior procesamiento.

Procesamiento y análisis de los sedimentos

Fraccionamiento granulométrico

El fraccionamiento granulométrico de las muestras fue realizado en húmedo siguiendo el procedimiento de TOSIANI *et al.* (2005). Las muestras se tamizaron empleando una mínima cantidad de agua de tal forma que el volumen final no excedió los 1,00 x10³ mL. Los tamices empleados fueron de acero inoxidable, con un diámetro de apertura de malla equivalente a 1,00 x10³, 500, 250, 125 y 63,0 µm. De esta manera se separaron la grava y las distintas clases de arena del sedimento total de la fracción lodo (limo y arcilla), la cual permaneció suspendida en el agua y se preservó para el próximo paso.

Para la separación del lodo, en sus componentes limo y arcilla, la suspensión anterior se colocó en un tubo de vidrio de 7,50 cm de diámetro y 1,50 m de largo. Luego de dos horas se separó la fracción que contenía los limos medios de los lodos finos (limos finos, muy finos y arcillas), las cuales se mantuvieron en el tubo separador por un tiempo de 24 horas. Las distintas fracciones separadas de la suspensión se secaron a 60,0°C y luego se cuantificaron gravimétricamente.

Las clases texturales principales fueron identificadas como arenas finas, arenas muy finas lodos (limos y arcillas), de acuerdo con la distribución del tamaño de grano realizada por FOLK (1978). La distribución de las diferentes fracciones de los sedimentos se representó mediante el triángulo de SHEPPARD (1954) mediante el programa Tridraw versión 4,5.

TABLA 1. Ubicación geográfica de las estaciones muestreadas en las cuencas alta, media y baja del río Manzanares.

Estación	Ubicación		Lat. (GMS)	Long. (GMS)
1	Río Yoraco	Cuenca Alta	10° 11' 0.229" N	63° 56' 5.306" W
2	Río Manzanares	Cuenca Alta	10° 10' 59.002" N	63° 56' 3.001" W
3	La Fragua	Cuenca Alta	10° 12' 11.999" N	63° 55' 17.000" W
4	Quebrada la Sequia	Cuenca Alta	10° 13' 19.999" N	63° 55' 18.998" W
5	Las Peñas	Cuenca Alta	10° 13' 22.001" N	63° 54' 31.000" W
6	Río los Chorros	Cuenca Alta	10° 13' 0.998" N	63° 52' 21.000" W
7	Río Aguas Blancas	Cuenca Alta	10° 13' 3.000" N	63° 52' 21.000" W
8	Unión los dos ríos	Cuenca Alta	10° 13' 0.998" N	63° 54' 19.001" W
9	Quebrada Orinoco	Cuenca Alta	10° 13' 0.998" N	63° 54' 19.001" W
10	Manzanares (altura Orinoco)	Cuenca Alta	10° 13' 0.998" N	63° 54' 20.999" W
11	La Fuente	Cuenca Alta	10° 13' 52.000" N	63° 54' 2.999" W
12	Río Aricagua	Cuenca Alta	10° 14' 3.264" N	63° 54' 47.999" W
13	Río Caribe	Cuenca Media	10° 17' 35.664" N	63° 58' 36.300" W
14	Río Arenas	Cuenca Media	10° 17' 1.000" N	63° 58' 14.002" W
15	Río San Juan	Cuenca Media	10° 20' 2.292" N	64° 1' 42.060" W
16	Río Cedeño	Cuenca Media	10° 21' 11.002" N	64° 10' 1.999" W
17	Edén del Niño	Cuenca Media	10° 26' 34.001" N	64° 9' 20.999" W
18	Areneras-Valles de Manzanares	Cuenca Media	10° 21' 15.941" N	64° 8' 53.880" W
19	Aliviadero	Cuenca Media	10° 38' 29.339" N	64° 9' 0.000" W
20	Puerto de la Madera	Cuenca Baja	10° 27' 29.002" N	64° 10' 5.002" W
21	Pque. Guaiquerí	Cuenca Baja	10° 27' 34.999" N	64° 11' 8.002" W
22	Pte. Raúl Leoni	Cuenca Baja	10° 28' 9.001" N	64° 11' 12.001" W
23	Pte. Gonzalo de Ocampo	Cuenca Baja	10° 28' 9.984" N	64° 11' 20.000" W
24	Avecaisa	Cuenca Baja	10° 28' 14.999" N	64° 11' 26.999" W
25	Salinidad 2	Cuenca Baja	10° 28' 13.980" N	64° 11' 37.000" W
26	Salinidad 8	Cuenca Baja	10° 28' 13.980" N	64° 11' 37.000" W
27	Salinidad 21	Cuenca Baja	10° 28' 13.980" N	64° 11' 37.000" W
28	Salinidad 32	Cuenca Baja	10° 28' 13.980" N	64° 11' 37.000" W
29	Salinidad 36	Cuenca Baja	10° 14' 3.264" N	63° 54' 47.999" W

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor parte de la cuenca del río Manzanares se encuentra cubierta por sedimentos aluvionales recientes, ampliamente distribuidos desde la cuenca superior hasta las zonas costeras. En la parte más elevada de la cuenca predominan rocas calcáreas indiferenciadas, situación que cambia más abajo, donde aparecen areniscas y conglomerados. En las cuencas media y baja se destaca la presencia de grandes cantidades de material fino, el cual aparece como consecuencia de arrastres producidos por la erosión provocada por las lluvias (SALAZAR & ARCIA 2020).

El transporte de sedimentos está estrechamente ligado a la hidrología y la geomorfología de la cuenca, lo que genera variaciones espaciales y temporales. La variación espacial está influenciada principalmente

por la naturaleza y el tamaño de las partículas del sedimento; los de mayor tamaño tienden a tener menor movilidad en comparación con los más finos, que son transportados como carga suspendida. Por otro lado, las variaciones temporales están determinadas por la climatología y el régimen de los ríos. Los ríos de características torrenciales arrastran grandes cantidades de sedimentos, lo que provoca variaciones en la composición de sus aguas (SALOMONS & FORSTNER 1984; RUIZ *et al.* 1994; BÉJAR *et al.* 2018). De esta manera, la variabilidad en los caudales y el potencial de los sólidos en las cuencas, resulta en el transporte de diferentes cantidades de materiales, incluyendo los que están en suspensión, los cuales difieren en su composición mineralógica, química y física, así como en su distribución granulométrica (HABERSACK *et al.* 2000).

Cuenca alta

La subcuenca alta se caracterizó por presentar un mayor porcentaje de arenas finas, con valores comprendidos desde 0,93% (estación 6, río Los Chorros-La Cuesta) hasta 45,4% (estación 12) ubicada en el río Aricagua, que mostró la concentración más alta de este tipo de granos. Así mismo, las arenas muy finas también presentaron un comportamiento muy similar, con valores que van desde 0,28% (unión de los dos ríos) hasta 26,8% (río Aricagua) (Fig. 2). Los sedimentos en esta área están conformados principalmente por granos finos y muy finos, específicamente por arenas, posiblemente provenientes de la meteorización de rocas sedimentarias y erosión de los suelos, que son transportadas por la genera en la zona ya que la misma presenta una pendiente $> 50\%$, así como por la convergencia de cuerpos de aguas en el río Manzanares. Esto indica que la distribución está influenciada por los factores ambientales predominantes en la región que determinan que las arenas se acumulen en zonas de alta energía o en las desembocaduras de los ríos (MARTÍNEZ 2016). Durante los periodos lde lluvia, esta subcuenca también recibe agua de las precipitaciones, la cual se concentra y, mediante procesos como escurrimiento y disección, transporta los sedimentos hacia los ejes de drenajes (FLÓREZ 2003).

La descomposición y meteorización de rocas aunque depende en gran parte del agua, la producción de sedimentos no solo se verá influenciada por las precipitaciones, sino también de condiciones topográficas, la densidad vegetal de cobertura y tipo de rocas expuestas (CAMPUSANO 2022), aportando granos que suelen ser sueltos y con mayor peso que, al disminuir el flujo de agua, propio en periodos secos, generan resistencia al arrastre o empuje producido por las corrientes y terminan depositándose en el fondo con los sedimentos consolidado (FLÓREZ *et al.* 2018).

Cuenca media

En el caso de la cuenca media, predominaron las arenas finas en todas las estaciones muestreadas, con valores que varían desde 4,75% hasta 40,8%, encontrándose este máximo en la estación 18 ubicada en las areneras. Solo en la estación 15 en río San Juan se cuantificaron 12,2% de las arenas muy finas (Fig. 3).

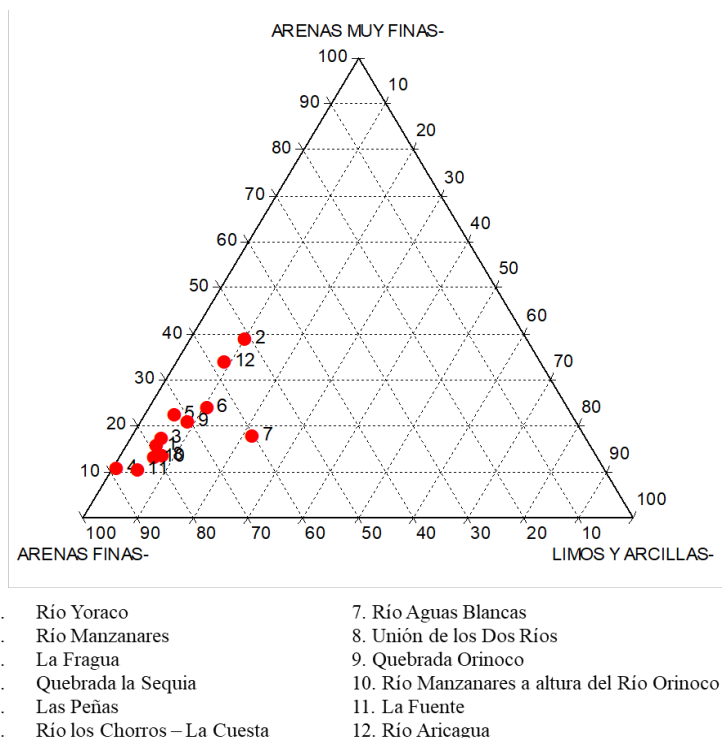


Fig. 2. Diagrama de SHEPPARD para los promedios de arenas finas, arenas muy finas, limos y arcillas para los sedimentos de la cuenca alta del río Manzanares, en el sector nororiental de Venezuela.

La erosión en la cuenca media es notable y está influenciada tanto por el régimen pluviométrico como por las actividades humanas, principalmente por la deforestación llevada a cabo por los agricultores locales con fines agrícolas. Esta deforestación descontrolada provoca la remoción de los suelos que son transportados por las escorrentías hasta los cauces. Además, las actividades realizadas en el propio lecho del río, como la extracción comercial de arenas y gravas, favorecen el proceso erosivo, lo cual se evidencia en el ensanchamiento del cauce y la inestabilidad de sus márgenes (SALAZAR *et al.* 2018).

La presencia del material fino, caracterizado por tener menos peso que el de la cuenca alta, junto con el régimen de precipitaciones, definirá las condiciones del transporte (caudal, velocidad de la corriente, densidad, deposición), mientras que la distribución granulométrica de sedimentos a lo largo del cauce dependerá también de la pendiente del relieve que varía entre 25,0 – 50,0% y de la geomorfología atravesada por la corriente fluvial (QUINTERO *et al.* 2021). Cuando el río abandona la montaña para fluir por terrenos más llanos, su cauce se ensancha y se hace más profundo. En esta zona del Manzanares como en sus afluentes, aumentan las arenas o los fangos en el sustrato, lo que provoca que las aguas se tornen turbias debido a la elevada carga de sedimentos (SALAZAR *et al.* 2018), el proceso en esta subcuenca es básicamente el transporte por disección, aunque también se produce la remoción de materiales del fondo y de las bermas que se incorporan como sedimentos en suspensión en la corriente (FLÓREZ 2003).

Cuenca Baja

Para la subcuenca baja se encontraron principalmente arenas finas y muy finas, con algunas diferencias en las estaciones del puente Gonzalo de Ocampo y la empresa Avecaisa, donde se existe la presencia de limos y arcillas.

El mayor aporte de arenas finas varió desde 6,86% en la zona estuarina hasta un valor máximo de 38,2% en el puente Raúl Leoni, mientras las arenas muy finas fluctuaron desde 0,11% en la zona estuarina (salinidad 2,00) hasta valores de 19,8% en la empresa AVECAISA. Asimismo, los lodos (limos y arcillas) oscilaron desde 0,36% en la zona del Aliviadero hasta 20,1% en la empresa AVECAISA (Fig. 4).

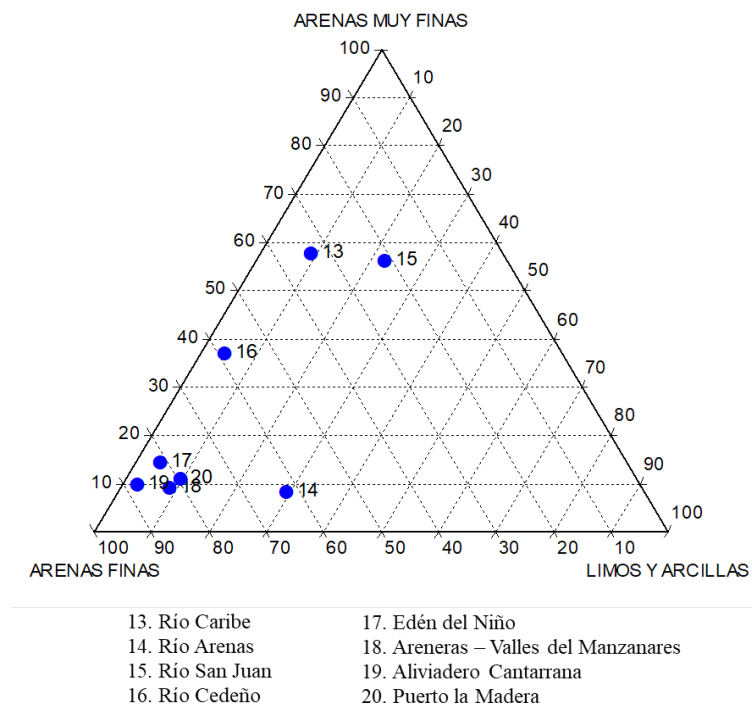


Fig. 3. Diagrama de SHEPPARD para los promedios de arenas finas- arenas muy finas - limos y arcillas para los sedimentos de la cuenca media del río Manzanares, en el sector Nororiental de Venezuela.

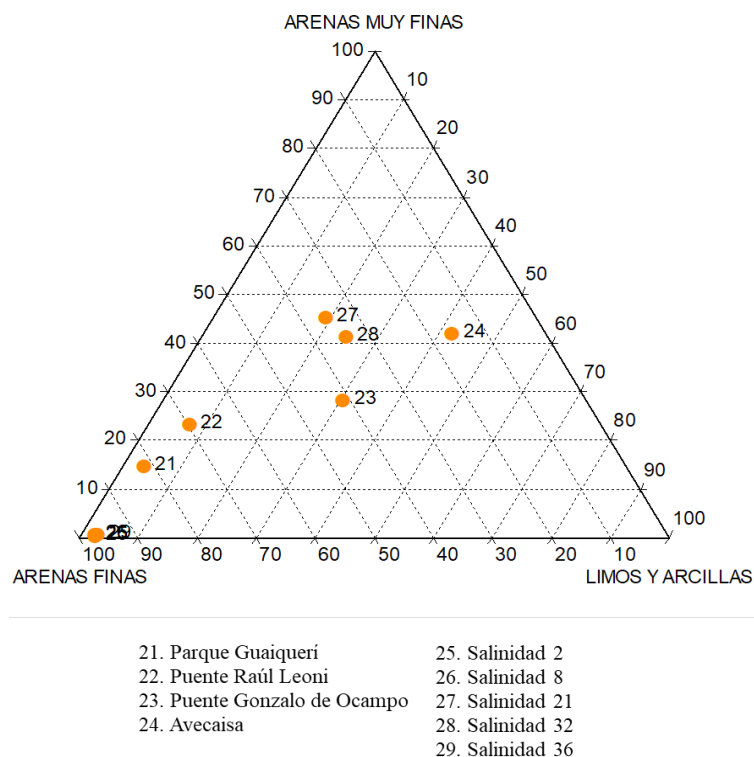


Fig. 4. Diagrama de SHEPPARD para los promedios de arenas finas- arenas muy finas - limos y arcillas para los sedimentos de la cuenca baja del río Manzanares, en el sector nororiental de Venezuela.

Los sedimentos en la subcuenca baja son más finos que en la subcuenca media, lo cual podría asociarse a que esta es una región topográficamente más deprimida, con una inclinación de 0,00–25.0% y menor energía debido a la interacción de las dos masas de aguas (dulce y salada), predominando la suspensión y decantación. En este sector de la cuenca hidrográfica, el cambio en la pendiente disminuye la competencia y la capacidad de carga, favoreciendo la sedimentación (FLÓREZ 2003). En cuanto a los lodos, debido a que son partículas cohesivas de menor tamaño y peso, pueden ser transportados o mantenidas en suspensión con mayor facilidad y no se depositan a menos que haya la presencia de sales provenientes de procesos naturales o de la cuña salina, que facilitan la floculación. Estos sedimentos pueden ser modificados debido a cambios en la salinidad, el pH, las condiciones redox y la concentración de la materia orgánica (TURNER & MILLWARD 2002), y pueden desempeñar un papel principal en el transporte de contaminantes inorgánicos en estos sistemas (MARCOVECCHIO *et al.* 2010).

Las actividades antropogénicas como descargas de aguas residuales, los cultivos agrícolas y precipitación atmosférica, son causas de contaminación inorgánica en el medio ambiente acuático (LU *et al.* 2018; SHEN *et al.* 2019; MÁRQUEZ & LEMUS 2020). En la mayoría de los casos, existe una relación clara entre el tamaño promedio de grano suspendido y la fuerza (energía) de la corriente del fondo en el momento de la deposición del sedimento. El tamaño promedio de las partículas de un depósito es proporcional al nivel de energía presente en el río. En consecuencia, el tamaño medio de grano de un depósito de sedimento sirve como una buena medida de la energía del medio ambiente en el momento de la deposición. Los sedimentos de grano fino denotan condiciones de baja energía, mientras que los sedimentos gruesos indican condiciones de alta energía (PINET 2019).

La distribución del tamaño de partículas en un sedimento proporciona valiosa información sobre los procesos de su formación y el entorno sedimentario (CUPUL *et al.* 2006). En la cuenca hidrográfica del Manzanares, predominan las arenas finas y muy finas, excepto en dos estaciones de la cuenca baja donde se detectó la presencia de lodos debido a procesos físicos y químicos específicos (Figs. 5 y 6). Estos hallazgos son consistentes con los de GONZÁLEZ & MILLÁN (2016), quienes destacaron el predominio de arenas de diámetro medio en el canal principal y la llanura aluvial del río Portuguesa, representando aproximadamente

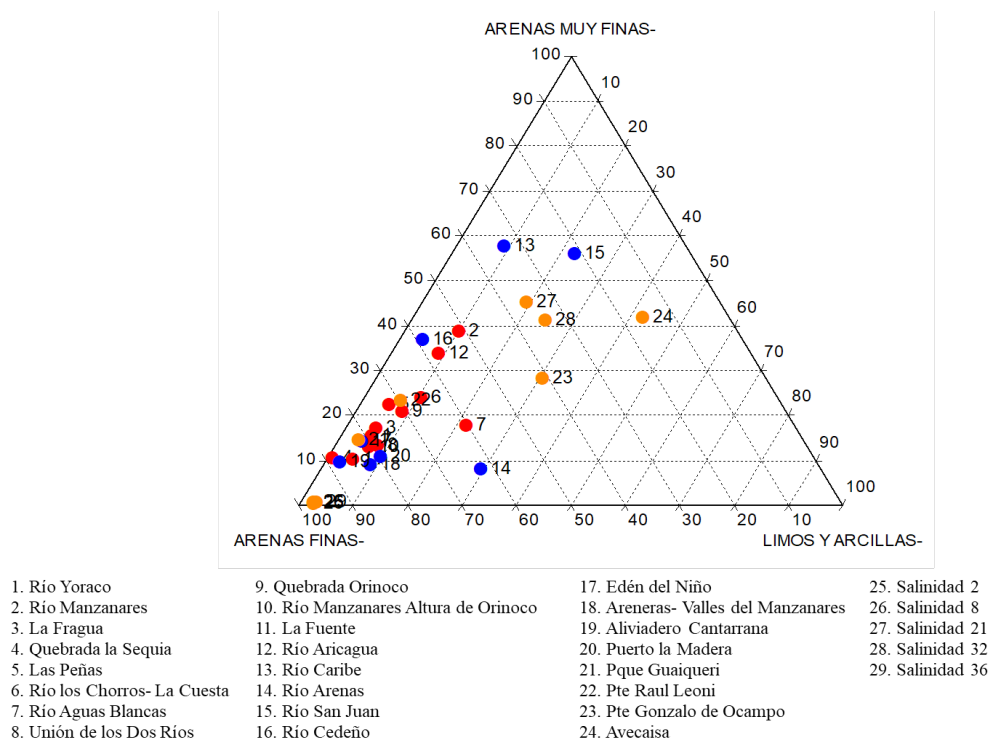


Fig. 5. Diagrama de SHEPPARD para los promedios de arenas finas-arenas muy finas – limos y arcillas para los sedimentos del río Manzanares, en el sector Nororiental de Venezuela.

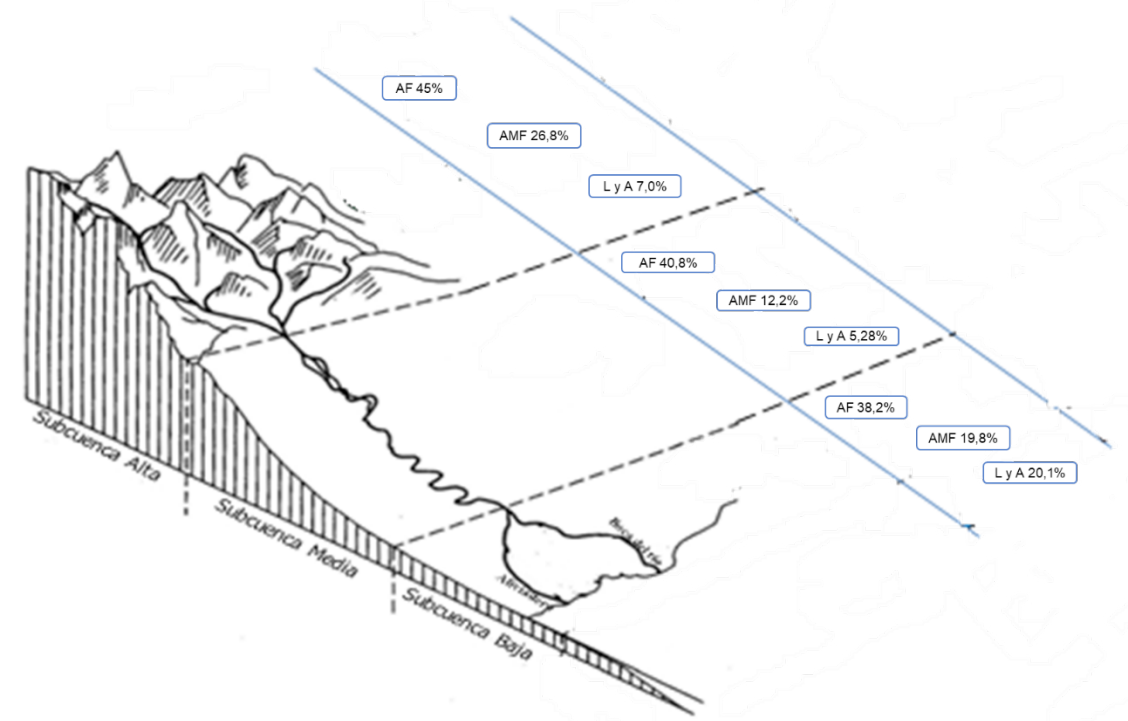


Fig. 6. Distribución de arenas finas (AF) -arenas muy finas (AMF) – limos y arcillas (L y A) para los sedimentos del río Manzanares, en el sector Nororiental de Venezuela.

el 58% de los sedimentos del estudio. Por otro lado, MANASSERO *et al.* (2010) encontraron que en la región abierta del estuario del río de la Plata, Argentina, los sedimentos eran mayoritariamente limos arcillosos y arcillas limosas, mientras que en el río Salado y los arroyos El Pescado y El Destino, los sedimentos de fondo eran más arenosos.

En el caso del río Orinoco, MÁRQUEZ & LEMUS (2020) afirman que existe una gran heterogeneidad en toda su cuenca debido a la geología y mineralogía presentes en la zona. Las aguas del río reciben aportes de drenaje de cuatro provincias situadas sobre el escudo Guayanés (Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima), así como de los Andes, la cordillera de la Costa y los llanos. Estos factores contribuyen a la complejidad de la presencia de sedimentos en el río Orinoco.

CONCLUSIONES

La cuenca hidrográfica del río Manzanares mostró una característica textural predominantemente arenosa, con predominio de arenas finas a lo largo de las tres subcuencas durante cinco períodos de sequía evaluados entre 2017 – 2022.

En la subcuenca alta, los valores de arenas finas variaron desde 0,93% hasta 45,37%, mientras que las arenas muy finas fluctuaron desde 0,28% hasta 26,76%. En la subcuenca media, se observó un comportamiento similar, con predominio de arenas finas que variaron desde 4,75% hasta 40,84% y solo una estación presentó un 12,28% de arenas muy finas. En la subcuenca baja, el aporte de arenas finas varió desde 6,86% hasta 38,2% y las arenas muy finas fluctuaron desde 0,11% hasta 19,79%. Los lodos (limos y arcillas) en la zona estuarina tuvieron una variación de 0,36% a 20,12%.

La presencia de estos sedimentos se atribuye principalmente a procesos naturales como meteorización, erosión, fenómenos de transporte de sólidos, caudal e hidrodinámica del río, así como de la pendiente del relieve de la cuenca, entre otros factores. El análisis textural de estos sedimentos permitirá comprender los cambios en este ecosistema y evaluar su estado de degradación y/o conservación a través del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Postgrado en Ciencias Marinas de la Universidad de Oriente, al personal profesional que labora en el laboratorio de Tratamientos de Agua de UPTOS “Clodosbaldo Russián”, así como al Dr. Gregorio Martínez Campos y a la MSc. Dayana Marcano por la lectura crítica del manuscrito.

REFERENCIAS

- AGUILERA, L., L. LASTRA, R. BETANCOURT & M. AMUNDARAIN. 1987. *Rescate del Manzanares*. Informe preliminar de la comisión nombrada por el consejo municipal del distrito Sucre, Estado Sucre, sobre la conservación, mejoramiento y defensa del río Manzanares, su cuenca y el área bajo su influencia. 46 pp.
- BASILE, P. 2018. *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, 1ª Ed., Rosario: Universidad Nacional de Rosario. 473 pp.
- BÉJAR, M., D. VERICAT, I. NOGALES, F. GALLART & R. BATALLA. 2018. Efectos de las extracciones de áridos sobre el transporte de sedimentos en suspensión en Ríos de Montaña (Alto Río Cinca, Pirineo Central). *Cuad. de Investig. Geogr.* 44 (2): 641-658. <http://doi.org/10.18172/cig.3256>
- BUENDÍA, C., C. GIBBINS, D. VERICAT, J. LÓPEZ & R. BATALLA. 2011. Influence of naturally high fine sediment loads on aquatic insect larvae in a montane river. *Scott. Geogr. J.* 127: 315-334. <https://doi.org/10.1080/14702541.2012.670006>
- CAICEDO, D. 2022. *Caracterización granulométrica y mineralógica de los sedimentos de la cuenca del Atrato*. Trab. Grad. Ing. de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia 2022, 60 pp.
- CAMPUSANO, A. 2022. *Evaluación de índice de geoacumulación de metales en sedimentos de la laguna Magdalena del sistema lacustre de Atillo del parque nacional Sanga*. Trab. Grad. Ing. Ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, río Bamba, Ecuador. 97 pp.
- CUPUL, L., C. MOSSO, J. SIERRA, E. MARTÍ, J. FERMAN, M. RODILLA, J. GONZÁLEZ & A. SÁNCHEZ. 2006. Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España. *Cienc. Mar.* 32 (4): 617 – 629.
- FERRER, C. 2018. Dinámica fluvial durante el inicio del Holoceno superior en el curso medio del Vinalopó (Alicante, España). *Bol. Geol. Min.* 129 (1/2): 305-330. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.129.1.012>
- FILGUEIRAS, A., I. LAVILLA & C. BENDICHO. 2002. Chemical sequential extraction of metal partitioning in environmental solid samples. *J. Environ. Monit.* (4): 823-857. <https://doi.org/10.1039/B207574C>
- FLÓREZ, A. 2003. *Colombia: evolución de sus relieves y modelados*. Editorial Unibiblos, 1ª Ed., Universidad Nacional de Colombia 233 pp.
- FLÓREZ, M., L. PARRA, S. BOLAÑOS, G. SÁNCHEZ, A. POVEDA & D. AGUDELO. 2018. Sedimentation rates and characteristics of bottom sediments in three reservoirs of Antioquia, Colombia. *IWA Publishing*, 22(4): 177-194.
- FOLK, R. 1978. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Segunda Edición. Hemphill Publishing Company, Austin, USA. 184 pp.
- GÓMEZ, V., E. MUÑOZ, M. CASTILLO & O. FRANCO. 2023. Estudio de la erosión de sedimentos en las cabeceras de las barrancas de Amalacaxco y Altzomoni (Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl Zoquiapan, México) mediante luminiscencia ópticamente estimulada. *Bol. de la Soc. Geol. Mex.* 75 (1): 1-19. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n1a140922>

- GONZÁLEZ, O. & Z. MILLÁN. 2016. Granulometría de los sedimentos fluviales del canal principal y llanura aluvial del río Portuguesa, Venezuela. *Revi. Invest.* 40 (87): 129-154.
- GUTIÉRREZ, A. 2022. *Evaluación de la calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica río Manzanares, Sucre, Venezuela, mediante la aplicación de los índices de calidad (ICA y contaminación, ICOs E IPI)*. Trab. Grad. Doctoral en Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, Sucre, Venezuela, 226 pp.
- HABERSACK, H., K. BOGNER, J. SCHNEIDER & M. BRAUNER. 2000. Catchment-Wide Analysis of the Sediment Regime with Respect to Reservoir Sedimentation. *Int. J. Sediment Res.* 16(2): 159-169.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2021. XV Censo de Población y Vivienda 2021. Caracas, Venezuela. 278 pp.
- JONES, J., J. MURPHY, A. COLLINS, D. SEAR., P. NADEN & P. ARMITAGE. 2012. The impact of fine sediment on macro-invertebrates. *River Res. and Appl.* 28: 1055-1071. <https://doi.org/10.1002/rra.1516>
- LANGSTON, W., N. POPE, P. JONAS, C. NIKITIC, M. FIELD, B. DOWELL, N. SHILLABEER, R. SWARBRICK & A. BROWN. 2010. Contaminants in fine sediments and their consequences for biota of the Severn Estuary. *Mar. Poll. Bull.* 61: 68–82. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.12.014>
- LU, G., B. WANG, C. ZHANG, S. LI, J. WEN, G. LU, C. ZHU & Y. ZHOU. 2018. Heavy metals contamination and accumulation in submerged macrophytes in an urban river in China. *Int. J. Phytoremediation.* 20(8): 839-846. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1438354>
- MANASSERO, M., C. CAMILIÓN & A. RONCO. 2010. Análisis textural de sedimentos fluviales distales de arroyos de la Pampa ondulada, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Lat. Am. J. Sedimentol. Basin Anal.* 11 (2): 57-68.
- MARCOVECCHIO J., S. BOTTE., M. FERNÁNDEZ & F. DELUCCHI. 2010. Geochemical Control of Heavy Metal Concentrations and Distribution within Bahía Blanca Est. (Argentina). *Aq. Geoch.* 16:251–266. <https://doi.org/10.1007/s10498-009-9076-1>
- MARCOVECCHIO, J. & R. FREIJE. 2013. *Procesos Químicos en Estuarios*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. edUTecNe. Argentina. 394 pp.
- MÁRQUEZ, A. & A. LEMUS. 2020. *Riesgos ambientales por metales pesados en los sedimentos del río Orinoco*. En: *Ríos en Riesgo de Venezuela*. Ed. D. Rodríguez-Olarte. Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela. (3): 59-78.
- MÁRQUEZ, A. 2003. *Proyecto Orinoco: evaluación de las concentraciones de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos de fondo en un sector del Orinoco medio, Venezuela*. Informe Técnico Final, Fundacite Guayana, Puerto Ordaz, Venezuela. 83 pp.
- MÁRQUEZ, A., I. FERMÍN, W. SENIOR, R. DE LA CRUZ, A. BENÍTEZ, A. DÍAZ, E. GONZÁLEZ, E. HERNÁNDEZ, M. GONZÁLEZ, D. HERNÁNDEZ, M. OCQUE, J. ACOSTA, A. LEMUS., M. PATIÑO & O. RODULFO. 2019. *Evaluación de riesgo ambiental por metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Manzanares, Venezuela*. En: *Las Costas Mexicanas, Contaminación, Impacto Ambiental, Vulnerabilidad y Cambio Climático*. Eds: V. Botello A. & S. Villanueva. UAC, UNAM, México. 1- 26 pp.
- MARTÍNEZ, G. 2016. *Estudio geoquímico y ambiental de los sedimentos del golfo de Cariaco, Venezuela*. Trab. Grad. Doctoral en Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 226 pp.
- MIRAMONTES, M., C. ANDRADE & V. MONTERO. 1997. Contenido y enriquecimiento de metales en sedimentos de la Ría de Vigo (España). *Talassas.* 13: 87-97.

- NASER, C., C. SPELTINI & M. FIDALGO. 2016. Caracterización de sedimentos del cauce del arroyo Sarandí en el tramo rectificado a cielo abierto. *Rumbos Tecnológicos*. 8: 119-134.
- PICCOLO, M. & G. PERILLO. 2000. Geomorfología de los estuarios: una visión diferente. *Rev. Univ. Geogr.* 9 (2): 95-107.
- PINET, P. 2019. *Invitation to oceanography*. 8^{va} Ed. Editorial Colgate University, Jones & Bartlett Learning. 598 pp.
- PRETTY, J., A. HILDREW & M. TRIMMER. 2006. Nutrient dynamics in relation to surface-subsurface hydrological exchange in a groundwater fed chalk stream. *J. Hydrol.* 330: 84-100. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.04.013>
- QUINTERO, D., V. LÓPEZ, S. FERREIRA, A. ROVERE, P. ESPINOZA & C. SULBELZA. 2021. Análisis granulométrico de sedimentos y dinámica fluvial en la cuenca del río Lorohuasi (Cafayate, Salta). *Ser. Correlacion Geol.* 37 (1): 19 – 48.
- RUIZ, E., A. ECHEANDIA & F. ROMERO. 1994. Relaciones entre agua y sedimento en ríos de origen torrencial. *Limnética*. 10 (1): 101-107.
- SALAZAR, S. & M. ARCIA. 2020. *Ríos en la cuenca Caribe oriental y drenajes a los golfos de Cariaco y Paria*. En: *Ríos en Riesgo de Venezuela*. Ed. D. Rodríguez-Olarte. Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela. 3 (1): 15-40.
- SALAZAR, S., C. ALFONSI, B. GÓMEZ, J. BELLO, W. SENIOR & L. TROCCOLI. 2018. *Estado de conservación del sistema hidrográfico del río Manzanares, región Caribe Oriental de Venezuela*. En: *Ríos en riesgo de Venezuela*. Ed. D. Rodríguez-Olarte. Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela. 2 (6): 121-138.
- SALOMONS, W. & U. FORSTNER. 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer Verlag, New York, USA. 102 pp.
- SHEN, F., S. LONGJIANG, D. JIJING, D & D. MIN. 2019. Contamination evaluation and source identification of heavy metals in the sediments from the Lishui River Watershed, Southern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 16(336): 1-15. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030336>
- SHEPPARD, L. 1954. Nomenclature based on the sand-silt-clay ratios. *J. of Sediment. Petrol.*, 24(3): 151-158.
- SYVISTKI, J., N. HARVEY, E. WOLANSKI, W. BURNETT, G. PERILLO, V. GORNITZ, H. BOKUNIEWICZ, M. HUETTEL, W. MOORE, Y. SAITO, M. TANIGUCHI, P. HESP, W. YIM, J. SALISBURY, J. CAMPBELL, M. SNOUSSI, S. HAIDA, R. ARTHURTON & S. GAO. 2005. Dynamics of the coastal zone. *Springer-Verlag*. 39-94.
- TOSIANI, T., C. YANES. & A. RAMÍREZ. 2005. *Sedimentos recientes frente al delta del Orinoco, Venezuela. Frente Atlántico Venezolano*. Investigaciones Geoambientales: Ciencias de la Tierra. Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA)-Fondo editorial Fundambiente. Caracas, Venezuela. 2: 53-61.
- TURNER, A. & G. MILLWARD. 2002. Suspended Particles: Their Role in Estuarine Biogeochemical Cycles. *Est. Coast. Shelf Sci.* 55: 857–883. <https://doi.org/10.1006/ecss.2002.1033>
- VARÓN, V., I. RAMÍREZ, G. ARAUJO & M. GUEVARA. 2022. Colombian soil texture: building a spatial ensemble model. *Earth Syst. Sci. Data*. 14: 4719–4741. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4719-2022>
- WOOD, P. & P. ARMITAGE. 1997. Biological effects of fine sediment in the Lotic environment. *Environ. Manage.* 21: 203-217.
- XIA, P., X. MENG, P. YIN, Z. CAO & X. WANG. 2011. Eighty-year sedimentary record of heavy metal inputs in the intertidal sediments from the Nanliu River estuary, Beibu Gulf of South China. *Sea. Env. Poll.* 159: 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.014>

RECIBIDO: SEPTIEMBRE 2023

ACEPTADO: MAYO 2024