

Análisis Sedimentológico y Estratigráfico del Estuario del Río Bunche, Provincia de Esmeraldas – Ecuador

Sedimentological and Stratigraphic Analysis of the Bunche River Estuary, Esmeraldas Province – Ecuador

Andrea Alvarado¹, Corina Campos¹, Oswaldo Guzmán¹, Carla Gavilanes²

¹ Universidad Regional Amazónica Ikiam, Grupo de Investigación Ciencias de la Tierra y Clima. Muyuna - Ecuador. E-mail: corina.campos@ikiam.edu.ec

² Cooperación Técnica Alemana GIZ. Quito - Ecuador. E-mail: carla.gavilanes@giz.de

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 03-07-2023

Fecha de aceptación: 26-09-2023

Resumen

En el presente trabajo se realizó un análisis sedimentológico y estratigráfico de sedimentos recolectados en el Estuario del Río Bunche, con el fin de comprender los procesos de transporte y depositación predominantes en este. El entendimiento de la dinámica de transporte de sedimentos en este ambiente proporcionará información base para la planificación costera, la gestión de la calidad del agua, la conservación de la biodiversidad, la adaptación al cambio climático, entre otros aspectos importantes. El estudio se realizó en sedimentos recolectados en tres núcleos, los cuales presentaron una longitud máxima de 60 cm y se obtuvieron en la zona litoral, canal interno del estuario y en una barra interna al estuario. Se realizaron análisis granulométricos, texturales, composicionales, y estadísticos. En función de los análisis realizados se logró determinar que los sedimentos presentes en el estuario varían de arena muy fina a fina y no presentan variaciones composicionales importantes entre los subambientes. En específico, los sedimentos presentes en la zona litoral son bien escogidos, con valores de asimetría positiva y naturaleza muy leptocúrtica, sugiriendo un entorno de transporte y depositación de alta energía. Los sedimentos recolectados en el canal interno y la barra interna al estuario se caracterizan por mostrar valores de asimetría muy positivos, moderado escogimiento y de naturaleza en su mayoría platicúrtica, lo cual es interpretado como un ambiente de depositación de energía más baja en comparación con la zona litoral, que dio lugar a la acumulación de sedimentos más finos. Tanto la suspensión graduada como la suspensión uniforme fueron los factores primordiales para el transporte, dentro de aguas agitadas de poca profundidad. En la zona litoral el transporte está asociado a la acción constante de las olas y corrientes litorales, mientras que en la zona interna del estuario las corrientes fluviales

Palabras clave: Análisis granulométricos, transporte de sedimentos, Río Bunche, ambientes depositacionales.

Abstract

In the present study, a sedimentological and stratigraphic analysis was conducted on sediments collected in the Estuary of the Bunche River to understand the predominant sediment transport and deposition processes. Understanding sediment transport dynamics in this environment will provide foundational information for coastal planning, water quality management, biodiversity conservation, climate change adaptation, among other important aspects. The study was conducted on sediments collected from three cores, each with a maximum length of 60 cm, acquired from the coastal zone, the internal estuarine channel, and an internal bar within the estuary. Granulometric, textural, compositional, and statistical analyses were performed. Based on the analyses conducted, it was determined that the sediments in the estuary range from very fine to fine sand and do not exhibit significant compositional variations among the sub-environments. Specifically, sediments in the coastal zone are predominantly well-sorted, with mostly positive skewness values and a very leptokurtic nature, suggesting a high-energy transport and deposition environment. Sediments collected in the internal channel and the estuarine bar are primarily characterized by highly positive skewness values, being moderately sorted and mostly platykurtic in nature. This is interpreted as an environment of relatively lower energy deposition compared to the coastal zone, resulting in the accumulation of finer sediments. Both graded suspension and uniform suspension are the primary factors for transport within shallow turbulent waters. In the coastal zone, this is associated with the constant

action of waves and littoral currents, while in the internal estuarine zone, fluvial and tidal currents have a greater impact.

Keywords: Grain size analysis, sediment transport, depositional environment, Bunche River.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los sedimentos clásticos en diferentes entornos deposicionales proporciona importante información acerca el origen de los sedimentos, grado de escogimiento, mecanismos de transporte y deposición, energía del ambiente, eficiencia del medio de transporte, entre otros [e.g. 1, 2, 3, 4]. Esta información se puede obtener a partir de análisis composicionales y texturales [5, 6], estos últimos son de manera general procesados a través de parámetros estadísticos básicos (media, desviación estándar, asimetría y curtosis) [7], en los cuales se puede interpretar, representar y comparar la distribución granulométrica de sedimentos de forma cualitativa y cuantitativa [1].

En el país se han realizado escasos estudios para establecer las características texturales de los sedimentos

con fin de determinar procesos de transporte y deposición y condiciones ambientales. Los pocos estudios se han realizado en las provincias de Santa Elena, Manabí y Guayas. Un ejemplo de esto son los trabajos realizados por Santana y Soledispa [8], Soledispa [9] y por Chunga and Toulkeridis [10], en los cuales basándose en análisis texturales y composicionales de sedimentos logran determinar el tipo predominante de sedimento, su distribución y posible proveniencia, así como la posible génesis de los depósitos sedimentarios [10].

En la presente investigación se realizó un análisis sedimentológico y estratigráfico de tres núcleos, recolectados en la zona de estuario del Río Bunche, el cual está situado al noroeste de Río Muisne, y al noroeste de Ensenada de San Francisco, en la provincia de Esmeraldas, Ecuador (figura 1). Con este estudio se logró determinar los tipos de sedimentos predominantes en el área de estudio, la distribución de los parámetros granulométricos, revelar el entorno deposicional, escogimiento y selección de los granos, así como, interpretar las condiciones energéticas e hidrodinámicas dentro del mismo.

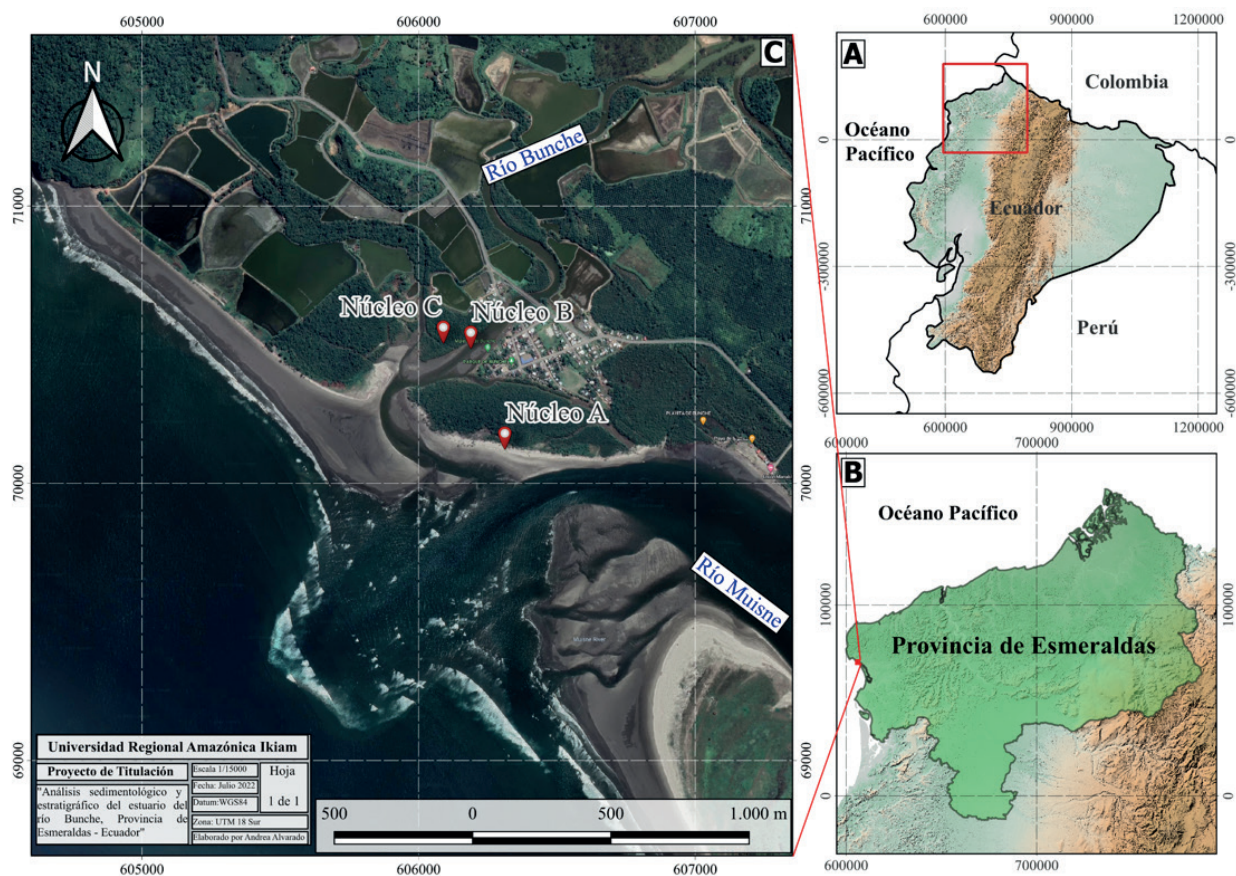


Figura 1. Ubicación regional y local de la zona de estudio. A) Zona de estudio regional con respecto a Ecuador. B) Ubicación a nivel de provincia. C) Ubicación local de los sitios de estudio sobre la imagen satelital tomada de Google Earth (2022).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó en tres zonas distintas del estuario, con el fin de caracterizar distintos subambientes dentro del mismo, se recolectó un núcleo en cada zona y se denominaron núcleos A, B y C (figura 2). El núcleo A se recolectó en la barra litoral costera, el núcleo B en el canal principal del estuario y por último, el núcleo C fue recolectado en una barra lateral interna del estuario (figura 1). El muestreo fue realizado mediante el siguiente procedimiento: Se excavó una calicata en los sitios seleccionados, con el uso de palas, de 50 x 50 cm de ancho por largo, y al menos 70 cm de profundidad. Se tomaron muestras de pared de manera continua usando tubos de PVC, y orientándolos de manera vertical (figura 2). A continuación, se realizó la caracterización textural de los sedimentos usando un estereoscopio OLYMPUS SZX7 con cámara digital integrada y tablas comparativas de redondez, esfericidad y escogimiento [12]. Luego, se realizaron columnas estratigráficas y se definieron unidades litológicas, las cuales fueron analizadas a detalle desde el punto de vista granulométrico. En las distintas unidades sedimentarias definidas se tomaron 40 gr por cada muestra y se las colocó en una estufa, a 60° C por 8 horas. Una vez seco el sedimento, para su posterior análisis granulométrico y estadístico, se lo pasó por una combinación de tamices con los siguientes diámetros: 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm y 0,063 mm.

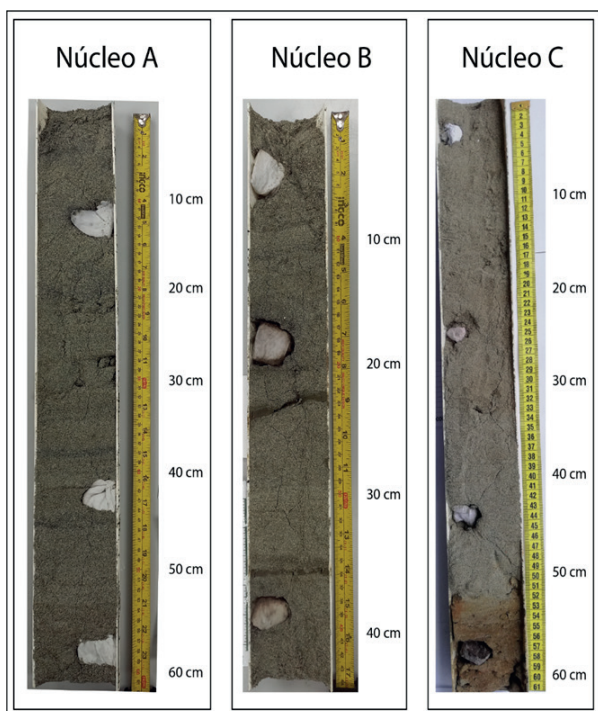


Figura 2. Fotografías de los núcleos A, B y C. El núcleo A presenta 60 cm de longitud, el núcleo B 45 cm de longitud y núcleo C 60 cm de longitud.

Por último, con los resultados obtenidos para cada muestra, se calcularon cuatro parámetros estadísticos de tamaño de grano, tales como: el tamaño medio (Mz), la desviación estándar (σ), la asimetría (SK) y la curtosis (K), según Folk and Ward [3] utilizando el software del programa estadístico “GRADISTAT” [13]. Para diferenciar las condiciones de deposición de los sedimentos, se calculó las funciones de discriminantes lineales [14]. El diagrama del proceso de energía para las muestras de sedimentos del estudio, se trazó según Stewart [15], mientras que para identificar el mecanismo de transporte se aplicó el diagrama CM de Passega [16].

3. RESULTADOS

Descripción textural y composicional

Con el fin de determinar las características texturales y composicionales los depósitos recopilados en las tres distintas secciones del estuario, se presenta su descripción en función del tamaño de grano, redondez, esfericidad y composición para cada uno de los núcleos. En los tres núcleos estudiados se logró identificar diferentes unidades sedimentarias, todas ellas caracterizadas por ser en predominancia arenosas, y presentar diversas estructuras sedimentarias. A continuación, describiremos las características texturales y composicionales de cada una de las unidades identificadas por núcleo.

El Núcleo A, recolectado en la zona de la barra litoral costera está constituido casi en su totalidad por arenas finas. En este núcleo se identificaron 6 unidades, en general las arenas presentan buen escogimiento y pueden mostrar laminación paralela. Las características especificadas de cada unidad se describen a detalle en la columna estratigráfica presente en la figura 3. Desde el punto de vista composicional, los sedimentos del núcleo A están constituidos de manera primordial por: cuarzo, feldspatos, hornblendas, circón, magnetita, otros minerales ferromagnesianos y pesados, así como escasos fragmentos de rocas en su mayoría afaníticos. Es de hacer notar que desde el punto de vista composicional los tres núcleos presentan similitud.

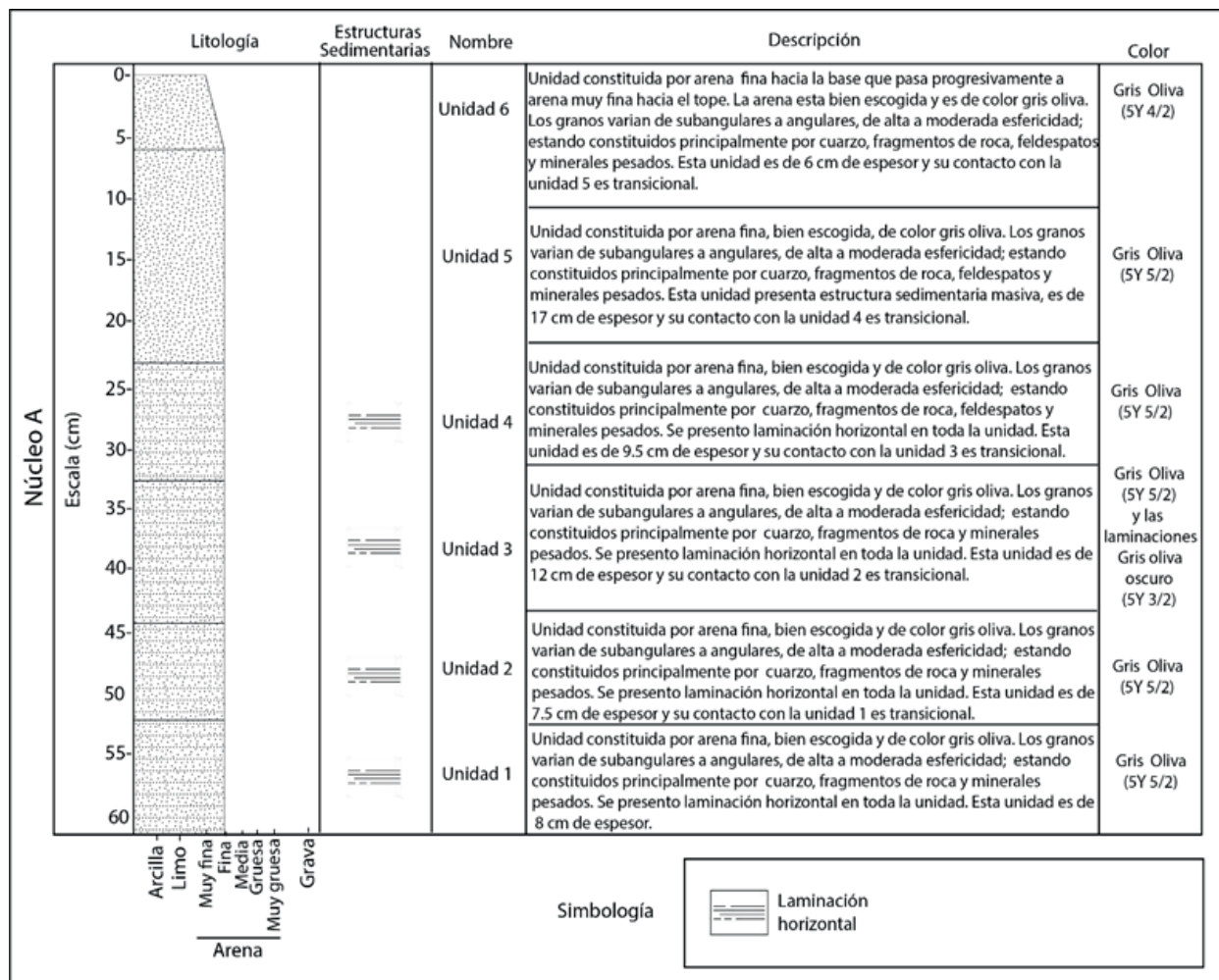


Figura 3. Columna estratigráfica del núcleo A. La secuencia presenta 60 cm de espesor. Se identificaron 6 unidades litológicas en base a características composicionales específicas, estructuras sedimentarias y color específico.

El Núcleo B fue recolectado en la zona del canal principal del estuario, en este núcleo se identificaron 8 unidades constituidas en su mayoría por arenas muy finas, bien escogidas, con granos que varían de subredondeados a

subangulares y de alta esfericidad (figura 4). Así mismo, se presentan dos láminas de 1 cm de espesor de arcilla limosa. Algunas unidades de este núcleo pueden presentar laminación paralela.

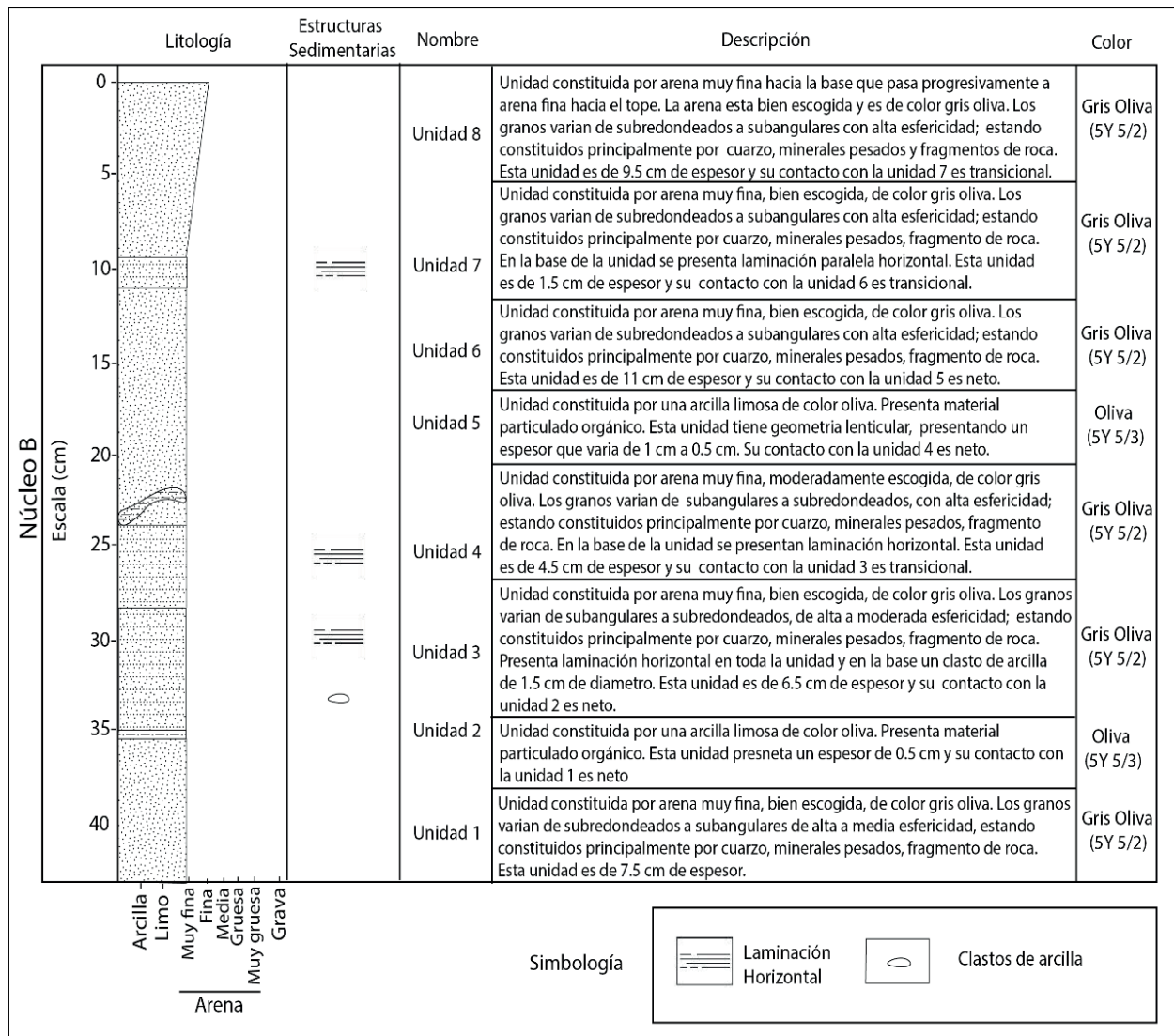


Figura 4. Columna estratigráfica del núcleo B. La secuencia presenta 45 cm de espesor. Se identificaron 8 unidades litológicas en base a características composicionales específicas, estructuras sedimentarias y color.

Por otro lado, en el núcleo C recolectado de la barra lateral del estuario, se identificaron 4 unidades, estando constituido por arenas que varían de muy finas a finas (figura 5). Las arenas presentan moderado escogimiento, con granos que varían de angulares a subangulares y de esfericidad alta a moderada. Dos unidades de este núcleo mostraron laminación inclinada de bajo ángulo.

Parámetros estadísticos – entorno deposicional

Con el fin de entender los procesos de transporte y depositación de los sedimentos en los distintos

subambientes del estuario, se aplicaron diferentes parámetros que representan de forma estadística las características granulométricas de un depósito, expresados en las unidades phi (logaritmo negativo del tamaño de grano, en milímetros, dividido entre el logaritmo de 2), determinados por Folk y Ward [7] y utilizado con éxito en varios estudios (e.g 17, 18, 19, 20, 21, 22). Los parámetros estadísticos que se utilizan de manera más común en análisis sedimentológicos son la: media, desviación estándar gráfica inclusiva, asimetría gráfica inclusiva y la agudeza o curtosis.

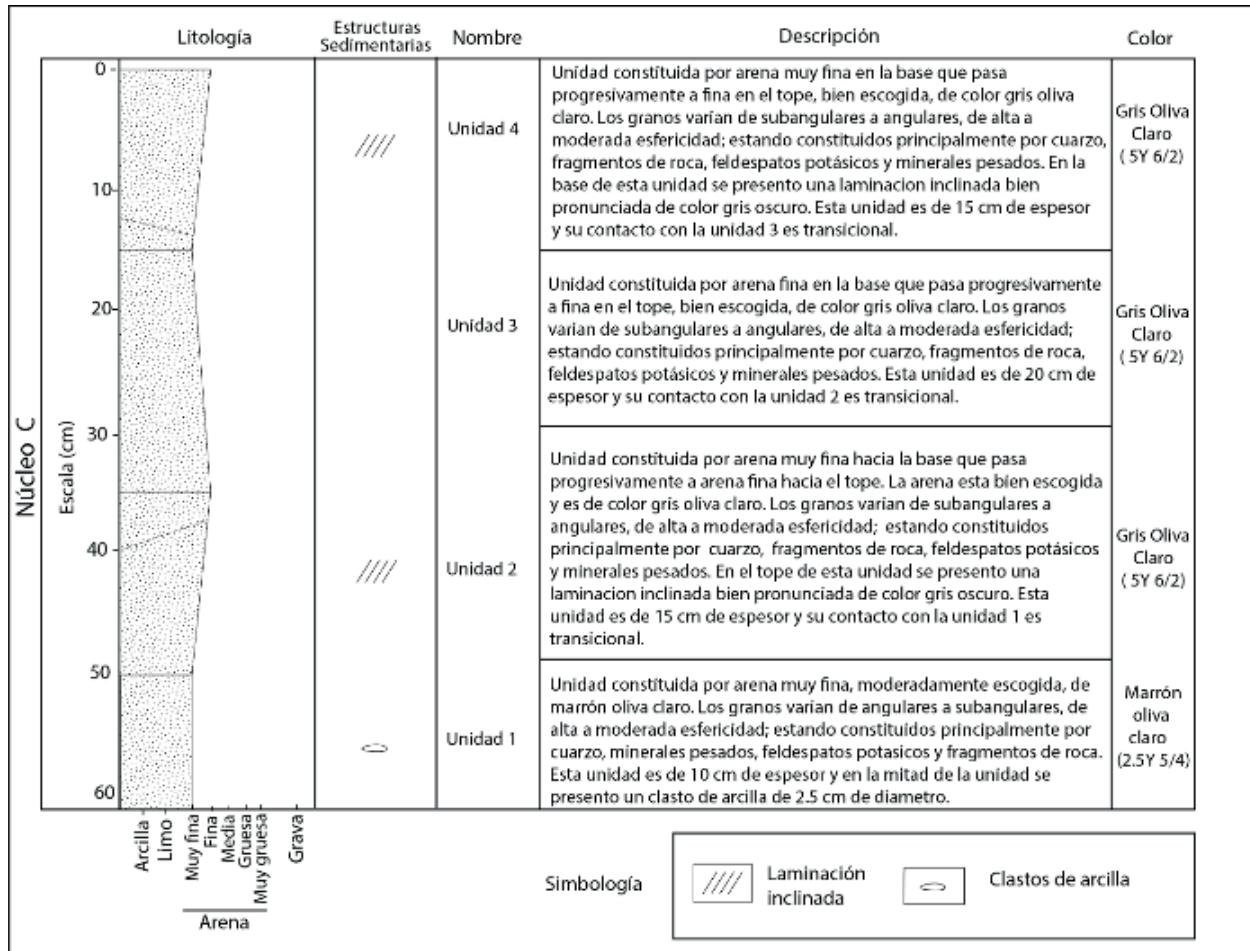


Figura 5. Columna estratigráfica del núcleo C. La secuencia presenta 60 cm de espesor. Se identificaron 4 unidades litológicas en base a características composicionales específicas, estructuras sedimentarias y color.

Los análisis estadísticos realizados en el núcleo A (figura 6), muestran que el tamaño de grano medio de los sedimentos del núcleo corresponde a arenas finas (92,86 %), a excepción del tope de la última unidad que presenta tamaño de arena muy fina (7,14 %). La desviación estándar, es muy variada, oscilando entre muy bien escogida (0,31 Φ) a moderadamente escogida (0,57 Φ). Los valores de asimetría, a lo largo del núcleo son muy variados ya que tienen datos que oscilan entre asimetría negativa (-0,27) a muy positiva (0,5), un 50 % de sus muestras se concentra en asimetría muy positiva. Los valores de curtosis revelan una curtosis en predominancia muy leptocúrtica, sus valores oscilan entre 1,67 – 2,46.

En el núcleo B el tamaño de grano medio de los sedimentos corresponde en su mayoría a arenas muy finas (92,3 %), a excepción del tope de la última unidad que muestra tamaño de grano arena fina (7,7 %). La desviación estándar, oscila entre bien escogida (0,48 Φ) a escogimiento moderado (0,57 Φ), dominando el escogimiento moderado. Los valores de asimetría revelan que el núcleo está dominado por una asimetría muy positiva, mientras que los valores de curtosis revelan una curtosis en predominancia platicúrtica (figura 6).

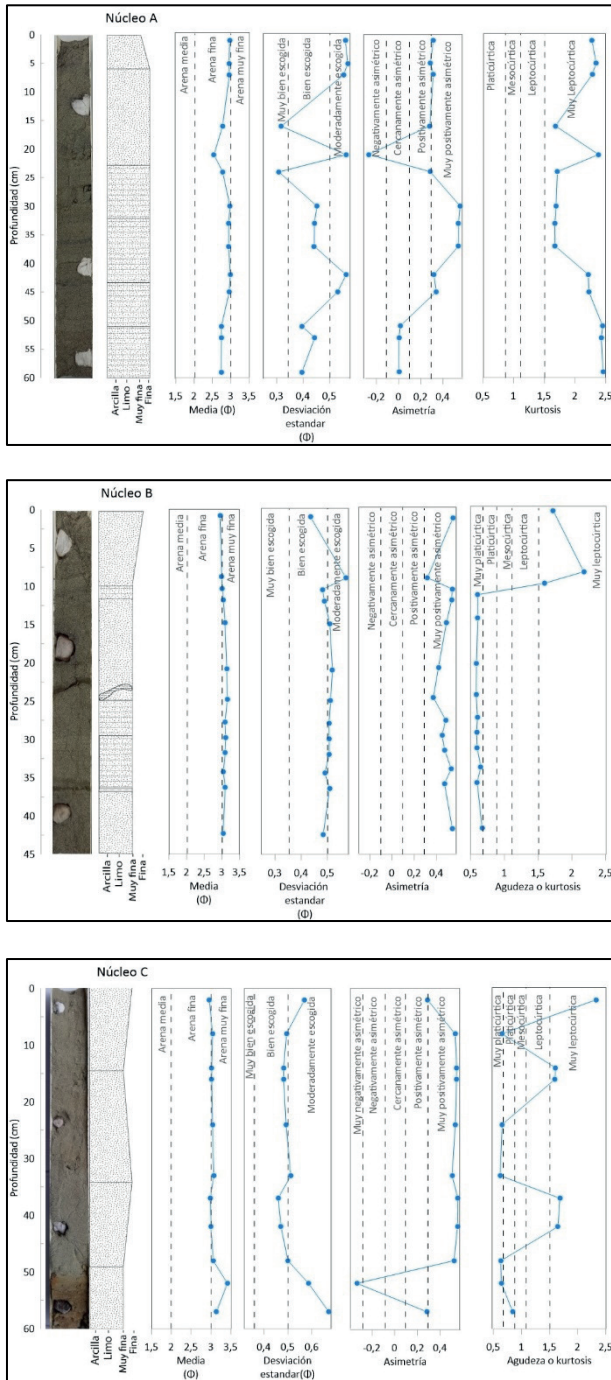


Figura 6. Imágenes de los núcleos A, B y C y perfiles de los parámetros estadísticos. Para cada núcleo se presenta una columna estratigráfica simplificada, parámetros estadísticos y distribución granulométrica a lo largo de los núcleos.

Por otro lado, en el núcleo C el tamaño de grano predominante en los sedimentos es arena muy fina (81,82 %), a excepción del tope de dos unidades que presentan tamaño de arena fina (18,18 %). La desviación estándar, muestra que en su mayoría los sedimentos están bien escogidos (0,46 Φ). Los valores de asimetría, a lo largo del núcleo son muy variados, oscilando entre asimetría negativa (-0,33) a muy positiva (0,56), aunque un 72,73 % de los valores están en el rango de muy positivamente asimétricos. Por último, la kurtosis muestra una gran

variación, oscilando desde muy platicúrtica (0,62) a muy leptocúrtica (2,33) (figura 6).

Condiciones de transporte y deposición

Para interpretar los mecanismos de transportes a los cuales fueron sometidos los sedimentos en distintos subambientes sedimentarios, se utilizó el diagrama de Passega [16], denominado también CM. El cual se basa en representar el porcentaje del percentil uno (1 %) de la curva acumulativa, denominado “C”, el cual representa el tamaño de grano máximo de la muestra, versus la mediana, la cual expresa el tamaño de grano medio del sedimento transportado, denominado “M”. Al graficar los datos obtenidos de la mediana versus el percentil 1 para los 3 núcleos analizados (figura 7), se aprecia poca dispersión, estando “C” concentrado en la mayoría de las muestras entre 200 a 400 μm , aunque algunas muestras pertenecientes al núcleo B presentan valores de “C” por debajo del promedio, con valores de 186 μm . De la misma manera los valores de “M” muestran poca dispersión, sus datos oscilan entre 93 μm a 171 μm . La gran mayoría de datos entran en el segmento de transporte en suspensión gradada a excepción de algunos datos del núcleo B que entran en el segmento de suspensión uniforme.

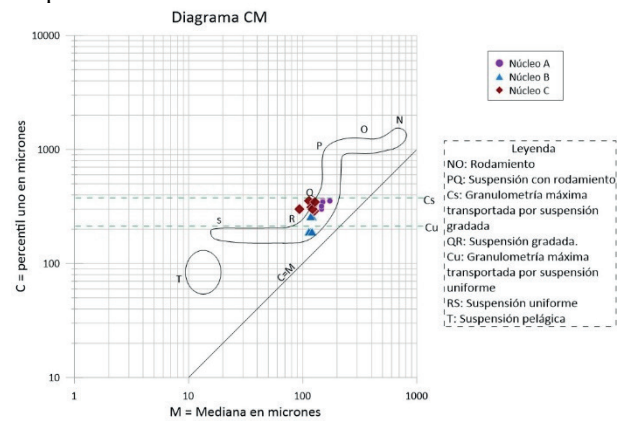


Figura 7. Representación de las muestras de los tres núcleos en el Diagrama CM que indica el modo de transporte entre C (un percentil en micrones) y M (tamaño mediano en micrones) basado en el diagrama original de Passega [16].

Para determinar las variaciones energéticas en los diferentes subambientes deposicionales se aplicó la función discriminante lineal “Linear discriminate function” o por sus siglas en inglés “LDF” el cual es un análisis estadístico que se utiliza para interpretar las variaciones de energía en distintos ambientes deposicionales [14]. Sahu, [14] estableció 4 ecuaciones para cuatro funciones discriminantes, las cuales se nombran Y1, Y2, Y3 y Y4, y en su desarrollo toman en cuenta los parámetros estadísticos de media (Mz), desviación estándar (σ^2), asimetría (Sk1) y kurtosis (KG). En esta investigación utilizaremos las formulas correspondientes a Y1, Y2 y Y3.

La denominada Y1, se aplica para distinguir entre procesos de deposición en ambientes eólicos y procesos de deposición en ambiente litoral de playa; la ecuación

es la siguiente: $Y1 = -3,5688Mz + 3,701\sigma I2 - 2,0766SkI + 3,1135KG$. Cuando $Y1$ es inferior a 2,7411, se indica un entorno eólico, mientras que, si es superior a 2,7411, se sugiere un entorno de playa. La denominada $Y2$, para distinguir entre procesos de depositación en ambientes de playa y procesos de depositación en ambientes marinos agitados de poca profundidad; la ecuación es la siguiente: $Y2 = 15,6534Mz + 65,7091\sigma I2 + 18,1071SkI + 18,5043KG$. Si el valor de $Y2$ es inferior a 65,3650, se sugiere una depositación en la playa, de lo contrario, si el valor es superior a 65,3650, se indica un mar agitado poco profundo. Por último, la denominada $Y3$, para distinguir entre procesos de depositación en ambientes marinos poco profundo y de depositación en ambientes fluviales; la ecuación es la siguiente: $Y3 = 0,2852Mz - 8,7604\sigma I2 - 4,8932SkI + 0,0482KG$, si $Y3 < 7,419$, entonces se indica como depósito fluvial, y si $Y3 > 7,419$, se sugiere como un depósito marino poco profundo. La aplicación de estas ecuaciones nos permitió determinar los distintos procesos de depositación en los diferentes ambientes sedimentarios. De manera general podemos destacar que para el núcleo A y C los procesos de depositación predominantes para la discriminación $Y1$ en su mayoría corresponden a ambientes eólicos, los valores de $Y2$ en su totalidad ambiente marino agitado somero y los valores de $Y3$ en su totalidad de depósito marino poco profundo. Para el núcleo B los procesos de depositación predominantes para la discriminación $Y1$ en su totalidad corresponden a ambientes eólicos, los valores de $Y2$ y de $Y3$ en su totalidad son exactos a los del núcleo A y B.

3.1. Discusión

Descripción textural y composicional

Los tres núcleos estudiados se caracterizan por presentar poca diferencia a nivel textural, los sedimentos de los tres núcleos tienen una alta esfericidad y una redondez en su mayoría subangular exceptuando el núcleo B que en algunas muestras de sedimentos se caracterizó por ser subredondeada. Las características texturales conforman propiedades de gran importancia sedimentológica debido a que están íntimamente relacionados a los procesos de transporte que sufrieron los sedimentos; además, expresan las modificaciones sufridas por los granos angulosos de distintas formas por efectos de la abrasión, selección por transporte y solución [12].

En cuanto a la composición general de los sedimentos de los núcleos, predomina el cuarzo, seguido de feldespatos, minerales pesados y fragmentos de roca. El gran porcentaje de cuarzo en las arenas de los tres núcleos se puede atribuir a que este mineral en medios naturales, presenta ausencia de planos de debilidad estructural es decir no se rompe de manera indefinida y posee una alta dureza [23]. Los feldespatos se encuentran en menor proporción en los sedimentos estudiados, esto puede ser debido a que estos son menos estables a procesos de meteorización y transporte y a su menor dureza [24].

Por otro lado, los minerales pesados presentes en todas las arenas de los tres núcleos se encontraban en mayor porcentaje en las fracciones granulométricas de tamaño más finas, en específico, en la fracción menor a 63 micras. Esto podría ser asociado a que por su elevada densidad se presentan en intervalos de tamaño inferior al de los clastos “ligeros” (cuarzo, feldespatos, etc.) con los que se asocian [25]. Entre los minerales pesados y ferromagnesianos se pudieron identificar magnetitas, anfíboles, posibles piroxenos y otros minerales ferromagnesianos sin distinguir.

Por último, los fragmentos de roca identificados en las arenas se caracterizan en su mayoría por ser de naturaleza afanítica. Están compuestos principalmente por fragmentos de origen sedimentario siliciclástico y en menor medida volcánico. Se infiere que estos fragmentos líticos, así como los principales minerales identificados provienen de rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias, depositadas en un ambiente de plataforma marina durante el Mioceno en la cuenca Esmeralda-Borbón. Estas rocas Miocenas afloran en las cercanías del área de estudio y pertenecen a las formaciones Viche Angostura, Onzole y Borbón [26].

Estructuras sedimentarias

De las estructuras sedimentarias presentes en los núcleos, se podría destacar la presencia bien marcada de laminación horizontal en los núcleos A y B. Las láminas en los núcleos estudiados varían entre 0,5 mm a 1 mm de espesor y se diferencian por variaciones de color y por la presencia de acumulación de minerales pesados. La laminación horizontal presente en las muestras, donde los sedimentos son de tamaño de grano de arena fina indica condiciones de transporte de sedimentos de alta energía [27]. Esta energía elevada no permite el desarrollo de rizaduras que se forman en ambientes de menor energía, dando paso a la formación de laminación paralela [28].

Por último, el núcleo C presenta en dos de sus unidades laminación inclinada de bajo ángulo, este se puede atribuir a condiciones de transporte de sedimentos de energía media, en la cual se propició la migración de sedimentos en una dirección predominante, posiblemente asociada a la formación de rizaduras, en la cual se desarrollaron láminas inclinadas de bajo ángulo [28].

Parámetros estadísticos

En función de los análisis estadísticos realizados en los tres núcleos se pudo determinar que el tamaño medio de grano para el núcleo A es de arena fina, siendo más grueso respecto al tamaño de grano en los núcleos B y C, que en general son arenas muy finas. Así mismo, el escogimiento determinado en función de la desviación estándar muestra que las arenas del núcleo A están bien escogidas en comparación con los núcleos B y C, los cuales presentan arenas con moderado escogimiento. El tamaño de grano mayor en las arenas de la costa (núcleo A) y su buen escogimiento está asociado a la eliminación de las partículas más finas por la acción del oleaje y las

corrientes marinas, tal como lo proponen Elsherif [21] y Friedman [17], mientras en el interior del estuario los sedimentos están menos seleccionados y son más finos debido a que hay una mezcla de diferentes fracciones granulométricas en proporciones variables, debido a que la energía es insuficiente para dispersar y/o eliminar a los sedimentos finos [29].

Los resultados derivados del estudio de la asimetría también están en concordancia con los resultados del escogimiento. La predominancia de una asimetría positiva en el perfil B seguido por el perfil C, refleja que el área está en condiciones de energía relativamente más bajas resultando en la acumulación de sedimentos más finos [30]. Las zonas caracterizadas por valores de asimetría negativa indican la eliminación de los sedimentos finos por remoción de los mismos [31]. Por último, el predominio del carácter muy leptocúrtico indica si la porción central está mejor seleccionada como ocurre en el núcleo A, que en todas las muestras presenta naturaleza muy leptocúrtica a diferencia de los núcleos B y C que presentan naturaleza platicúrtica, es decir, tienen menor escogimiento [24].

Energía, condiciones de transporte y depositación

En base a los resultados del análisis de la función discriminante lineal, se realizaron diagramas cruzados para los parámetros Y1, Y2 y Y3, lo que aporta a la interpretación de procesos y ambientes de depositación [14]. En base a las correlaciones cruzadas de los valores Y1 y Y2, se puede observar que todas las muestras de los sedimentos de los tres núcleos están enmarcadas dentro de los procesos de transporte en condiciones de aguas agitadas poco profundas (figura 8). Sin embargo, existe una subdivisión entre las muestras del núcleo A, las cuales están en el dominio de procesos típicos de ambientes de playa, en relación con los núcleos B, C y algunos de los sedimentos del núcleo A que se presentan en el dominio de procesos típicos de ambientes eólicos (figura 8).

Existen otras gráficas que contribuyen a la discriminación de los procesos energéticos, estas se obtuvieron a partir de los datos de la mediana del tamaño de los sedimentos versus la desviación estándar y la asimetría (figura 9). Estas correlaciones han sido utilizadas por diversos autores (e.g. 15, 19, 32). En nuestra zona de estudio este diagrama refleja una separación entre los depósitos de la costa y los depósitos internos del estuario. En ambos gráficos se ve una

separación marcada entre el núcleo A con respecto al núcleo B y C, lo que evidencia que este tipo de diagramas son útiles para diferenciar procesos de sedimentación bajo distintas condiciones de energía. En el presente trabajo (figura 5) se propone un límite entre procesos predominantemente asociados a oleaje de dominio costero para el núcleo A, en los cuales el tamaño de grano es más grueso y el escogimiento es más variable en núcleos B y C, donde el escogimiento es menos variable en comparación con los datos del núcleo A.

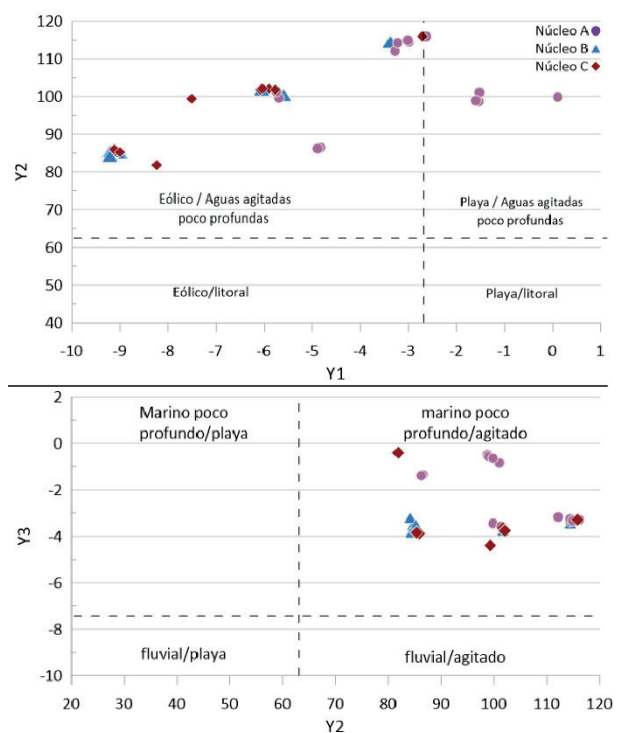


Figura 8. Discriminación de ambientes basados en el gráfico de funciones de discriminante lineal, según (Elsherif et al., [21]; Sahu, [14]).

Como último punto podemos destacar que la representación de las muestras pertenecientes a los tres núcleos en el diagrama CM (figura 7) muestra que la totalidad de nuestras entran en el campo del transporte de sedimentos por procesos de suspensión gradada o suspensión uniforme. Lo que indica que, la alta energía predominante en los subambientes estudiados, aunado a una predominancia de sedimentos tamaño de grano arena fina no permitió el desarrollo de procesos de tracción en el fondo del lecho, predominando los procesos de transporte en suspensión ya sea uniforme o gradada.

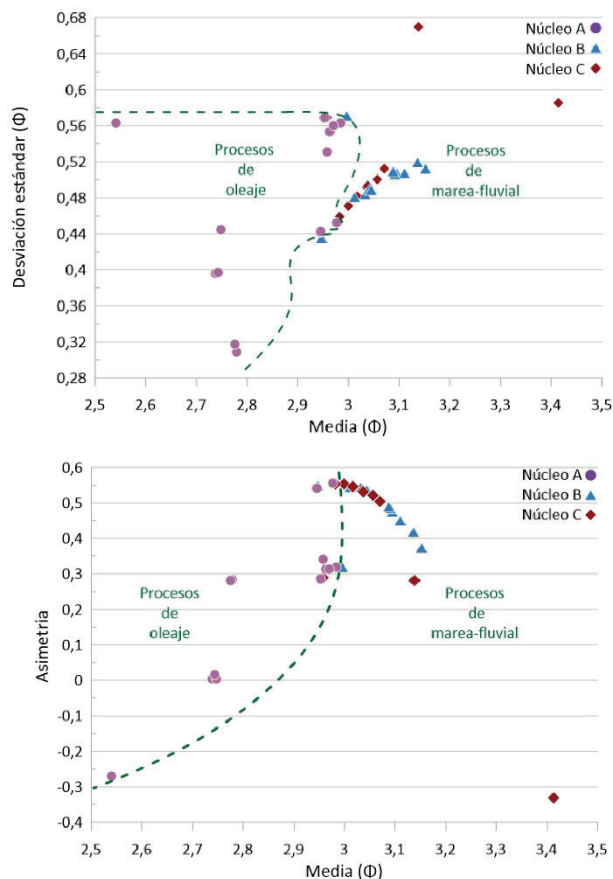


Figura 9. Diagrama con interpretación de procesos predominantes. Se muestra las relaciones entre (a) el tamaño medio frente a la desviación estándar (b) el tamaño medio frente a la asimetría, según Stewart [15].

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

A nivel composicional y textural los tres núcleos mostraron poca diferencia, presentando los sedimentos en su mayoría alta esfericidad y una redondez subangular. En cuanto a la composición general predomina el cuarzo, seguido de feldspatos, hornblendas, circón, magnetita, otros minerales ferromagnesianos, así como escasos fragmentos de rocas en predominancia afaníticos, siendo la fuente más probable de los sedimentos las formaciones Miocénicas de Viche Angostura, Onzole y Borbón.

La distribución granulométrica de los sedimentos a lo largo de los tres perfiles mostró un predominio de sedimentos tamaño de grano arena muy fina hacia la barrera lateral (núcleo C) y hacia el canal principal del estuario (núcleo B), y una tendencia ligeramente más gruesa hacia la costa (núcleo A), la cual se puede atribuir a la eliminación de partículas más por la acción aventadora de las olas.

Los sedimentos de la costa a lo largo del perfil A están dominados por granos bien escogidos, con valores de asimetría en su mayoría positiva y naturaleza muy leptocúrtica, sugiriendo un entorno de alta energía, asociado a la presencia de las olas y las corrientes

litorales. Las zonas de los perfiles B y C se caracterizan principalmente por valores de asimetría muy positivos, moderado escogimiento y de naturaleza en su mayoría platicúrtica, que corresponden a una condición de energía más baja en comparación con la costa, y que dio lugar a la acumulación de sedimentos más finos.

Tanto la suspensión graduada como la suspensión uniforme son los factores primordiales para el transporte, dentro de aguas agitadas de poca profundidad.

4.2 Recomendaciones

A partir de los tres barrenos analizados en el presente trabajo se contribuye al entendimiento de las dinámicas de sedimentos en un sistema costero de Ecuador. Estas dinámicas varían espacial y temporalmente. En este último aspecto se recomienda realizar dataciones absolutas de los sedimentos analizados, con las cuales se podrá no solo identificar procesos, sino, cuantificarlos y por consiguiente lograr una mejor comprensión de los mismos, aportando información relevante para una planificación y ordenamiento territorial en armonía con procesos geológicos. También se recomienda considerar la toma de nuevos barrenos en subambientes del mismo sistema estuarino y en otros sistemas costeros de Ecuador, aplicar una metodología similar y comenzar a integrar los resultados para tener una visión regional de los procesos sedimentológicos en las costas de Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

A la Cooperación Técnica Alemana para el Desarrollo Sostenible y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) quienes, mediante la asistencia técnica del Programa ProCamBío II fueron los gestores de los primeros pasos del presente trabajo. Y a los pobladores de la comunidad de Bunche que nos permitieron ser parte de su día a día. El trabajo fue desarrollado dentro del proyecto de investigación código Ikiam CTC-006-2020.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] González, O., Millán, Z., 2016. Granulometría de los sedimentos fluviales del canal principal y llanura aluvial del río Portuguesa, Venezuela. *Rev. Investig.* 40, 122–147. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000100007
- [2] Morris, P. H. and Williams, D.J., A world-wide correlation for exponential bed particle size variation in subaerial aqueous flows, 1999. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, 835-847. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199908\)24:9<835::AID-ESP15>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9<835::AID-ESP15>3.0.CO;2-G)
- [3] Le Roux, J.P.; Rojas, E.M. Sediment transport patterns determined from grain size parameters: Overview and state of the art., 2007. *Sedimentary*

- Geology, 202, 3, 473-488. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.03.014>
- [4] Khan, U.A.; Valentino, R. Investigating the Granulometric Distribution of Fluvial Sediments through the Hybrid Technique: Case Study of the Baganza River (Italy)., 2022. Water. 14, 1511. <https://doi.org/10.3390/w14091511>
- [5] H, J.A.G., Herrera, R., Ríos, V., G, J.R.V., 2001. Análisis del sedimento y organismos de la infauna de playa el salado-aguadulce. Tecnociencia 3, 81–93 <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/542>
- [6] Syvitski, J.P.M. Principles, Methods, and Application of Particle Size Analysis., 1991. Cambridge University Press: Cambridge, UK; 368. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626142>
- [7] Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. J. Sediment. Res. 27, 3–26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- [8] Soledispa, B., & Santana, E. (1998). Estudio de las características sedimentológicas, de la desembocadura del Río Chone, frente a la ciudad de Bahía de Caráquez, Ecuador. Acta Oceanográfica Del Pacífico, 12. <http://hdl.handle.net/1834/2307>
- [9] Soledispa, B., 2017. Características de la sedimentación marina litoral comprendida entre la Puntilla de Santa Elena y Punta Ancón, Provincia de Santa Elena, Ecuador. Acta Oceanográfica Del Pacífico Vol. 14 N° 1. <https://aquadocs.org/handle/1834/2368>
- [10] Chunga, K., Toulkeridis, T., 2014. First evidence of paleo-tsunami deposits of a major historic event in Ecuador. Sci. Tsunami Hazards. Vol. 33, No. 1, page 56 <http://www.ipgh.gob.ec/portal/images/imagenes/noticias/pdfs/Chunga%20Toulkeridis%20Tsunamis%20UG%20ESPE%202014.pdf>
- [11] Google Earth, 2022. Google Earth [WWW Document]. URL <https://earth.google.com/web/> (accessed 8.13.22).
- [12] Pettijohn, F.J., 1957. Sedimentary rocks. Harper, New York.
- [13] Blott, S.J., Pye, K., 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surf. Process. Landf. 26, 1237–1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>
- [14] Sahu, B.K., 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. J. Sediment. Res. 34, 73–83. <https://doi.org/10.1306/74D70FCE-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- [15] Stewart, H.B., Jr., 1958. Sedimentary Reflections of Depositional Environment in San Miguel Lagoon, Baja California, Mexico. AAPG Bull. 42, 2567–2618. <https://doi.org/10.1306/0BDA5BFA-16BD-11D7-8645000102C1865D>
- [16] Passega, R., 1957. Texture as Characteristic of Clastic Deposition. AAPG Bull. 41, 1952–1984. <https://doi.org/10.1306/0BDA594E-16BD-11D7-8645000102C1865D>
- [17] Friedman, G.M., 1961. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. J. Sediment. Res. 31, 514–529. <https://doi.org/10.1306/74D70BCD-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- [18] Martin, Y., 2003. Evaluation of bed load transport formulae using field evidence from the Vedder River, British Columbia. Geomorphology 53, 75–95. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00348-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00348-3)
- [19] Nugroho, S., Putra, P., Yulianto, E., Noeradi, D., 2017. Multivariate statistical analysis for characterization of sedimentary facies of Tarakan sub-basin, North Kalimantan. Mar. Georesources Geotechnol. 36, 1–11. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2017.1399178>
- [20] Nugroho, S.H., Putra, P.S., 2018. Spatial distribution of grain size and depositional process in tidal area along Waikelo Beach, Sumba. Mar. Georesources Geotechnol. 36, 299–307. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2017.1312649>
- [21] A. Elsherif, E., Badawi, A., Abdelkader, T., 2020. Grain size distribution and environmental implications of Rosetta beach, Mediterranean Sea coast, Egypt. Egypt. J. Aquat. Biol. Fish. 24, 349–370. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2020.70860>
- [22] Mi, B., Zhang, Y., Mei, X., 2022. The sediment distribution characteristics and transport pattern in the eastern China seas. Quat. Int., Understanding the Late Quaternary Paleomonsoon and Paleoenvironmental Shifts of Asia 629, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.020>
- [23] Arche, A., 2010. Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Editorial CSIC - CSIC Press.
- [24] Ray, A.K., Tripathy, S.C., Patra, S., Sarma, V.V., 2006. Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. Environ. Int., Marine Pollution and Ecotoxicology 32, 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.08.014>

[25] Imam, N., 2009. *Petrology of Sedimentary Rocks* (Second Edition).

[26] Vallejo, C., Spikings, R.A., Winkler, W., Luzieux, L., Chew, D., Page, L., 2006. The early interaction between the Caribbean plateau and the NW South American plate. *Terra Nova* 18, 264–269.

[27] Reineck, H.E., Singh, I.B., 2006. Genesis of Laminated Sand and graded rhythmites in storm sand layers of shelf mud. *Sedimentology* 18, 123–128. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1972.tb00007.x>

[28] Nichols, G., 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. John Wiley & Sons.

[29] Singarasubramanian, S.R., Mukesh, M.V., Manoharan, K., Murugan, S., Bakkiaraj, D., John Peter, A., Seralathan, P., 2006. Sediment characteristics of the M-9 tsunami event between Rameswaram and Thoothukudi, Gulf of Mannar, southeast coast of India. *Sci. Tsunami Hazards* 25, 160–172. <https://library.lanl.gov/tsunami/253/singa.pdf>

[30] Murcia, H., Cortes, G., Hurtado, B., 2008. Métodos e integración de análisis granulométrico para depósitos volcánico-lásticos. *Bol. Geol. INGEOMINAS* 42, 129–139. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/boletingeo.42.2008.24>

[31] Natesan, U., Deepthi, K., Muthulakshmi, A.L., Ferrer, V.A., Narasimhan, S.V., Venugopalan, V.P., 2012. Textural and depositional processes of surface sediments of Kalpakkam, Southeast Coast of India. *Front. Earth Sci.* 6, 392–404. <https://doi.org/10.1007/s11707-012-0330-2>

[32] Singh, M., Singh, I.B., Müller, G., 2007. Sediment characteristics and transportation dynamics of the Ganga River. *Geomorphology* 86, 144–175. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.08.011>