



**UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA**

**CARRERA DE GEOCIENCIAS**

**CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LOS  
DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS DEL ESTUARIO DEL RÍO BUNCHE,  
PROVINCIA DE ESMERALDAS-ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN GEOCIENCIAS**

**AUTOR**

**ALISON GABRIELA HARO CHAVEZ**

**Tena - Ecuador**

**2024**



**UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA**

**CARRERA DE GEOCIENCIAS**

**CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LOS  
DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS DEL ESTUARIO DEL RÍO BUNCHE,  
PROVINCIA DE ESMERALDAS-ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN GEOCIENCIAS**

**AUTOR: ALISON GABRIELA HARO CHAVEZ**

**TUTOR: PH. D. CORINA CAMPOS SERRANO**

**Tena - Ecuador**

**2024**

## Carrera de Geociencias

### Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 16 de agosto de 2024

Yo, Alison Gabriela Haro Chávez con documento de identidad 1003853346, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título Ingeniera en Geociencias, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento, son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, reading "Alison Gabriela Haro Chávez". The signature is written in a cursive style.

Alison Gabriela Haro Chávez

CI: 10038533

## Carrera de Geociencias

### Autorización de publicación en el repositorio institucional

Tena, 16 de agosto de 2024

Yo, Alison Gabriela Haro Chávez, con documento de identidad 1003853346 en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Caracterización sedimentológica y geoquímica de los depósitos sedimentarios del estuario del río Bunche, provincia de Esmeraldas-Ecuador”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiám una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiám para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.



Alison Gabriela Haro Chávez

CI: 1003853346

## Carrera de Geociencias

### Certificado de dirección de trabajo de titulación

Tena, 16 de agosto de 2024

Certifico que el trabajo de titulación: “Caracterización sedimentológica y geoquímica de los depósitos sedimentarios del estuario del río Bunche, provincia de Esmeraldas-Ecuador”, aprobado bajo el mecanismo de titulación de: artículo, fue realizado por Alison Gabriela Haro Chávez, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiám, para su entrega y defensa.



Ph. D. Corina Campos Serrano

C.I: 1759458670

Tutora

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar esta maravillosa etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño.

Quiero expresar un agradecimiento muy especial a mi abuelita, María Magdalena Molina, quien forjó mi camino con amor y dedicación. Tu sabiduría y fortaleza han sido una fuente constante de inspiración para mí. Gracias por enseñarme los valores y la perseverancia que han guiado mi vida.

Un agradecimiento muy profundo mi a hermana, Daniela Haro, por su invaluable apoyo a lo largo de mi vida y de mis estudios universitarios. Tu generosidad y constante ánimo fueron fundamentales para poder superar los desafíos de este camino. Gracias por creer en mí y por estar siempre a mi lado. Este logro es tanto tuyo como mío.

Agradezco también a mi familia, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su apoyo y cariño en los momentos más difíciles. Sus palabras de ánimo y comprensión me han permitido avanzar y alcanzar mis metas.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutora, Corina Campos por su paciencia, guía y apoyo a lo largo de mi carrera y especialmente durante la elaboración de esta tesis. Su dedicación y compromiso han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo. Gracias por creer en mí y por estar siempre dispuesta a ayudarme a superar los desafíos que se presentaron en el camino.

Agradezco profundamente a la Universidad Regional Amazónica Ikiam por proporcionarme las herramientas necesarias para mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente, quiero agradecer a todos las personas que me ayudaron y guiaron en todo este camino, ya sea con un consejo, ánimo o colaboración. Cada uno de ustedes dejó una huella muy significativa en mi trayectoria.

A todos ustedes, gracias por ser mi pilar y por contribuir de manera tan significativa a la culminación de este logro académico.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo con todo mi cariño y amor, en primer lugar, a mi hermana Daniela Haro y a mi abuelita María Magdalena Molina, quienes siempre estuvieron a mi lado, brindándome su compañía y ánimo en cada momento. También lo dedico a todos mis familiares por su confianza y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi formación personal y profesional. Sin ustedes, este sueño no se habría hecho realidad. Este logro se los debo a cada uno de ustedes, querida familia. Los amo.

## TABLA DE CONTENIDO

### PORTADA

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD ..... ii

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL..... iii

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN ..... iv

AGRADECIMIENTO ..... v

DEDICATORIA ..... vii

ÍNDICE DE TABLAS ..... ix

ÍNDICE DE FIGURAS ..... x

INDICE DE ANEXOS..... xii

RESUMEN ..... xii

ABSTRACT..... xiii

Introducción ..... 2

Materiales y Métodos ..... 4

    Parámetros estadísticos y entorno deposicional ..... 12

    Energía-condiciones de transporte y depositación..... 20

Análisis geoquímico ..... 22

    Interpretación de los parámetros geoquímicos en función de la textura y ambiente  
    deposicional..... 24

    Interpretación de los parámetros texturales y condiciones depositacionales en  
    función de los parámetros geoquímicos..... 25

    Condiciones depositacionales y ambientales en el estuario del río Bunche ..... 26

Conclusión..... 28

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Descripción textural y composicional de la columna estratigráfica del núcleo 1. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Descripción textural y composicional de la columna estratigráfica del núcleo 2 .....	11

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación local de la zona de estudio y de estudios previos sobre la imagen satelital tomada de Google Earth (2023)..... 5
- Figura 2.** Fotografías de los núcleos N°1 y N° 2. El núcleo 1 tiene una longitud de 56 cm, mientras que el núcleo 2 tiene una longitud de 64 cm. .... 7
- Figura 3.** Columna estratigráfica del núcleo N° 1, con una longitud de 56 cm, en la que se identificaron 2 unidades litológicas. Estas unidades se diferenciaron por sus características texturales y composicionales, así como por sus estructuras sedimentarias y colores específicos distintivos. .... 9
- Figura 4.** Columna estratigráfica del núcleo N° 2, con una longitud de 64 cm, en la que se identificaron 7 unidades litológicas. Estas unidades se diferenciaron por sus características texturales y composicionales, así como por sus estructuras sedimentarias y colores específicos distintivos ..... 11
- Figura 5.** Curva granulométrica que incluye el tamizado seco (azul), los datos crudos del hidrómetro (negro) y análisis de hidrómetro (rojo), representando la distribución del tamaño de partículas del núcleo 1, unidad 1. Esta curva proporciona una visión integral de la distribución granulométrica, permitiendo una evaluación detallada entre métodos de tamizado y medición del hidrómetro ..... 13
- Figura 6.** Perfiles de los parámetros estadísticos del núcleo N° 1. Se presenta una columna estratigráfica simplificada, su distribución granulométrica, la desviación estándar, asimetría y curtosis a lo largo del núcleo. .... 14
- Figura 7.** Perfiles de los parámetros estadísticos del núcleo N° 2. Se presenta una columna estratigráfica simplificada, su distribución granulométrica, la desviación estándar, asimetría y curtosis a lo largo del núcleo. .... 15
- Figura 8.** Representación de las muestras de los núcleos 1 y 2 en el Diagrama CM que muestran el modo de transporte entre C (percentil en micrones) y

M (tamaño medio en micrones) basado en el diagrama de Passega. Al cual se incorporaron las muestras analizadas por Alvarado et al. (2023) definidas como A, B y C. ....	16
<b>Figura 9.</b> Discriminación de ambientes basados en el gráfico de funciones de discriminante lineal, según (Elsherif et al., 2020; Sahu, 1964). Se presentan las muestras obtenidas del núcleo 1 y núcleo 2 .....	18
<b>Figura 10.</b> Diagrama interpretativo de los procesos predominantes. Se presenta la relación entre el tamaño medio frente a la desviación estándar. Se incorporan las muestras obtenidas por Alvarado et al. (2023) definidas como A, B y C. ....	19
<b>Figura 11.</b> Diagrama interpretativo de los procesos predominantes. Se presenta la relación entre el tamaño medio frente a la asimetría. Se incorporan las muestras obtenidas por Alvarado et al. (2023) definidas como A, B y C. ....	20
<b>Figura 12.</b> El núcleo N° 1 presenta la distribución granulométrica junto con los perfiles geoquímicos de las concentraciones de Si; Silicio, K: potasio, Al; aluminio, Ti; titanio, Fe; hierro, Fe: hierro y Sr: estroncio, en una profundidad de 56 cm. La unidad 1 se se encuentra representada por un color violeta, mientras que la unidad 2 está representada por el color rosado. ....	23
<b>Figura 13.</b> En el núcleo N° 2 se observa la distribución granulométrica y los perfiles geoquímicos de las concentraciones de Si; Silicio, K: potasio, Al; aluminio, Ti; titanio, Fe; hierro, Fe: hierro y Sr: estroncio, en una profundidad de 64 cm. ....	23

## INDICE DE ANEXOS

- Figura 1.** Análisis de correlación de Pearson entre la granulometría de los sedimentos finos y la concentración geoquímica de Si, K, Al, Ti y Fe, mostrando la relación fuerte entre el tamaño de los granos y las concentraciones de estos elementos, así como una relación débil para el Sr en el núcleo N° 1.....33
- Figura 2.** Análisis de correlación de Pearson entre la granulometría de arenas finas y la concentración de los elementos geoquímica Si, K, Al, Ti y Fe, mostrando una relación débil entre el tamaño de los granos y las concentraciones de estos elementos en el núcleo N° 2..... 34

## RESUMEN

La investigación caracterizó los depósitos sedimentarios del estuario del río Bunche mediante análisis sedimentológicos y geoquímicos, con la finalidad de identificar cambios en los procesos deposicionales y ambientales. Se analizaron dos núcleos sedimentarios de 65 cm de longitud, recolectados en la barra interna del estuario y en la zona litoral costera. Se realizaron análisis granulométricos y de composición elemental mediante tamizado, ensayo del hidrómetro y espectrometría de fluorescencia de rayos X. En la barra interna, los sedimentos variaron desde arena muy fina hasta limo grueso, con un escogimiento que va de moderadamente a mal escogido, con valores de asimetría predominantemente positivos y naturaleza mesocúrtica, características de un ambiente de baja energía. El transporte de sedimentos en este núcleo estuvo influenciado por ambientes marinos y continentales, y osciló entre suspensión con rodamiento y suspensión gradada, mostrando altas concentraciones de Si, K, Al, Ti, Fe y Sr. En la zona litoral costera, los sedimentos fueron arenas finas predominantemente bien escogidas, con valores de asimetría positiva y de naturaleza leptocúrtica. Estos sedimentos fueron transportados por suspensión gradada en un ambiente marino, destacando concentraciones moderadas de Si, K, Al, Fe y Ti, y elevadas de Sr. El análisis de correlación de Pearson entre granulometría y concentración geoquímica mostró una fuerte relación para Si, K, Al, Ti y Fe en la barra interna ( $R^2 > 0.82$ ), pero débil para Sr ( $R^2 = 0.66$ ). En la zona litoral costera, las correlaciones fueron débiles para todos los elementos, con  $R^2 < 0.74$ , lo que indica una menor influencia granulométrica en la concentración de estos elementos.

**Palabras clave:** granulometría, caracterización sedimentológica, caracterización geoquímica, núcleos sedimentarios, deposición, correlación de Pearson.

## ABSTRACT

The research characterized the sedimentary deposits of the Bunche River estuary through sedimentological and geochemical analyses, in order to identify changes in depositional and environmental processes. Two sediment cores of 65 cm in length, collected in the inner bar of the estuary and in the coastal littoral zone, were analyzed. Grain size and elemental composition analyses were performed by sieving, hydrometer testing and X-ray fluorescence spectrometry. In the inner bar, sediments ranged from very fine sand to coarse silt, moderately to poorly sorted, with predominantly positive asymmetry values and mesokurtic in nature, characteristic of a low-energy environment. Sediment transport in this core was influenced by marine and continental environments, and ranged from rolling suspension to graded suspension, showing high concentrations of Si, K, Al, Ti, Fe and Sr. In the coastal littoral zone, the sediments were predominantly well-sorted fine sands, with positive asymmetry values and leptokurtic in nature. These sediments were transported by graded suspension in a marine environment, highlighting moderate concentrations of Si, K, Al, Al, Fe and Ti, and elevated concentrations of Sr. Pearson's correlation analysis between granulometry and geochemical concentration showed a strong relationship for Si, K, Al, Ti and Fe in the inner bar ( $R^2 > 0.82$ ), but weak for Sr ( $R^2 = 0.66$ ). In the coastal littoral zone, correlations were weak for all elements, with  $R^2 < 0.74$ , indicating less granulometric influence on the concentration of these elements.

**Keywords:** granulometry, sedimentological characterization, geochemical characterization, sedimentary cores, deposition, Pearson correlation

**Revista:** LA GRANJA

**Link:**

[https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/about/submissions?fbclid=IwY2xjawEpw85leHRuA2FlbQlxMAABHX5S0hPVGnsLT34vjBg-WFB9v18cFxA1K3ES6p1TqBxaUkHCqrbV29wXdw\\_aem\\_JygOOjpXDTCDBirbY5-5EA](https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/about/submissions?fbclid=IwY2xjawEpw85leHRuA2FlbQlxMAABHX5S0hPVGnsLT34vjBg-WFB9v18cFxA1K3ES6p1TqBxaUkHCqrbV29wXdw_aem_JygOOjpXDTCDBirbY5-5EA)

**Caracterización sedimentológica y geoquímica de los depósitos sedimentarios del estuario del río Bunche, provincia de Esmeraldas-Ecuador**

Sedimentological and geochemical characterization of the sedimentary deposits of the Bunche River estuary, Esmeraldas Province, Ecuador."

Alison Haro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena 150150, Ecuador.

(\*) Autor correspondiente: [alison.haro@est.ikiam.edu.ec](mailto:alison.haro@est.ikiam.edu.ec)

## Introducción

La caracterización sedimentológica y geoquímica de los depósitos sedimentarios es importante para entender los procesos deposicionales y las condiciones ambientales de los estuarios. Estos estudios no solo revelan la dinámica sedimentaria y las influencias geoquímicas, además proporcionan información valiosa sobre la historia ambiental y los cambios climáticos locales (Delgado Romero, 2024). En este contexto, el estuario del río Bunche, ubicado en la provincia de Esmeraldas, Ecuador, representa un área de estudio ideal debido a su compleja interacción de procesos fluviales y marinos.

Los depósitos sedimentarios en el estuario del río Bunche, al igual que en otros estuarios, actúan como archivos naturales que registran los efectos de la tectónica y los cambios climáticos. La deformación de la corteza terrestre y el clima influyen significativamente en los procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos, los cuales son transportados por ríos desde los continentes hasta los océanos (Cheshire, Thurow and Nederbragt, 2005; Singh, Singh and Müller, 2007). Estos depósitos no solo revelan episodios históricos y prehistóricos de erosión y deposición, sino también la afectación humana y los cambios ambientales a lo largo del tiempo (Singh, Singh and Müller, 2007).

Ante esta problemática, la caracterización sedimentológica y geoquímica de los depósitos sedimentarios es relevante para comprender los cambios ambientales en cualquier ambiente de deposición y particularmente en los estuarios (Bialik, Jarochowska and Grossowicz, 2021; Garrido Cuero, 2022). La sedimentología estudia las características de los granos y proporciona información sobre el origen del medio deposicional, los medios de transporte de los sedimentos y la energía del medio, lo que permite verificar su origen con mayor precisión (Silva, Villanueva and Villalba, 1996; Bialik, Jarochowska and Grossowicz, 2021; Alvarado et al., 2023). Por otro lado, la geoquímica se enfoca en la composición química de los sedimentos revelando detalles sobre la proveniencia de los materiales y las condiciones ambientales pasadas (Polvillo Polo, 2003; Thomson, Croudace and Rothwell, 2015).

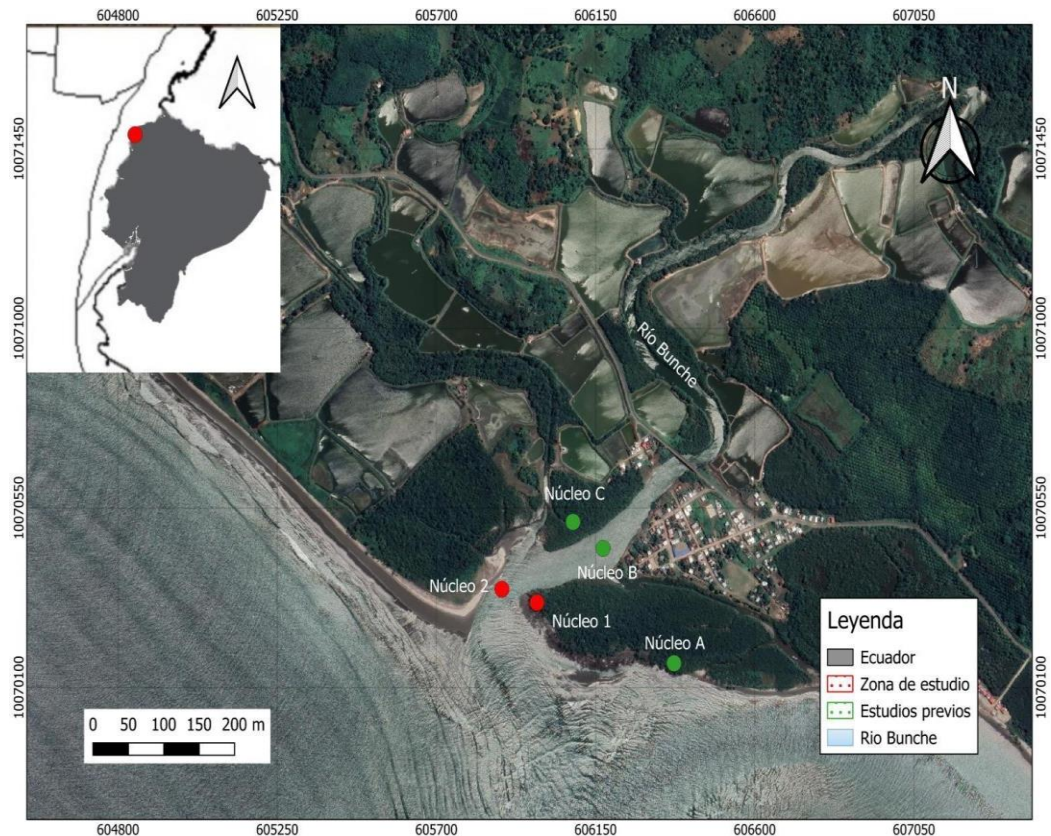
En el Ecuador, se han llevado a cabo investigaciones limitadas que aborden la caracterización textural y composicional de los sedimentos, las que en combinación con el análisis geoquímico permita comprender los procesos de transporte y deposición, así como las condiciones ambientales. Es así que Alvarado et al. (2023) realizó un estudio preliminar en el estuario del río Bunche, en el que determinó el tipo predominante de sedimento, su distribución, identificación del entorno deposicional, así como la interpretación de las condiciones energéticas. Sin embargo, es importante enriquecer este análisis sedimentológico y estratigráfico con estudios geoquímicos y granulométricos por hidrómetro para tener una visión más amplia al identificar cambios en los procesos deposicionales y ambientales (Jarochowska and Grossowicz, 2021; Thomson, Croudace and Rothwell, 2015). Por lo tanto, el presente estudio busca comprender el impacto de las condiciones depositacionales y ambientales en la distribución granulométrica y la composición de los elementos químicos presentes en el estuario del río Bunche. Para ello, se caracterizó los depósitos sedimentarios mediante análisis sedimentológicos y geoquímicos usando el tamizado, el ensayo del hidrómetro y la técnica de fluorescencia de rayos X, con la finalidad de identificar cambios en los procesos deposicionales y ambientales.

## **Materiales y Métodos**

El muestreo se realizó en el río Bunche, un estuario en la provincia de Esmeraldas, Ecuador. Específicamente se ubica en la parroquia San Francisco del cantón Muisne, a una altitud de 8 msnm, con una latitud 0° 38' 5" norte y una longitud 80° 2' 49" oeste (Fig. 1). Para la selección del punto de muestreo, se aplicaron los siguientes criterios de selección: minimización de sedimentos que tengan meteorización, la preservación de estructuras sedimentarias que no hayan sido alteradas por actividad humana, así como la representatividad de la sedimentación predominante en la zona de estudio.

Con el fin de tener una visión más amplia de los subambientes presentes en el estuario, se recolectaron once núcleos sedimentarios durante una fase exploratoria que tuvo lugar entre el 23 de septiembre de 2019 y el 5 de diciembre de 2019. Estos núcleos fueron almacenados en el laboratorio de geociencias de la Universidad Regional Amazónica Ikiam para su análisis. El análisis inicial, realizado por Alvarado et al. (2023) fue llevado a cabo durante el período de julio de 2021 a enero de 2022 y se centró en un análisis sedimentológico y estratigráfico de tres núcleos recolectados en diferentes subambientes del estuario, denotados con las letras A, B y C (Fig. 1). La continuación del análisis se llevó a cabo en el presente estudio, desde el 1 de octubre de 2022 hasta febrero de 2024, en el cual se caracterizó sedimentológica y geoquímicamente los sedimentos de dos de los núcleos recolectados (Fig. 2).

La recolección de los núcleos se realizó mediante la excavación de calicatas cuadradas de 50 x 50 cm con una profundidad de al menos 65 cm. Los núcleos se extrajeron verticalmente con tubos de PVC, asegurando que el lado abierto del tubo estuviera en contacto directo con los sedimentos y que el eje longitudinal del tubo fuera perpendicular a las capas estratigráficas. Por último, se evitó la contaminación entre muestras y se registraron las coordenadas geoespaciales de cada sitio de muestreo.



**Figura 1.** Ubicación local de la zona de estudio y de estudios previos sobre la imagen satelital tomada de Google Earth (2023)

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

Las muestras obtenidas fueron secadas en una estufa a una temperatura de 55°C durante un periodo de 8 horas para eliminar la humedad. A continuación, se realizó la caracterización textural de los sedimentos usando procesos de tamizaje e hidrómetro. Por otro lado, se usó el estereomicroscopio OLYMPUS SZX7 con cámara digital integrada para determinar la redondez y esfericidad, así como el análisis mineralógico de los principales componentes. Posteriormente, se realizaron columnas estratigráficas y se definieron unidades litológicas, las cuales fueron estudiadas a detalle desde el punto de vista granulométrico y geoquímico. Los análisis de sedimentos gruesos se realizaron con un espaciamiento de 2 centímetros y un volumen aproximado de entre 40 a 60 gramos. Mientras que, para el análisis de sedimentos de grano fino, el espaciamiento fue de 6 centímetros con un volumen aproximado de 50 gramos.

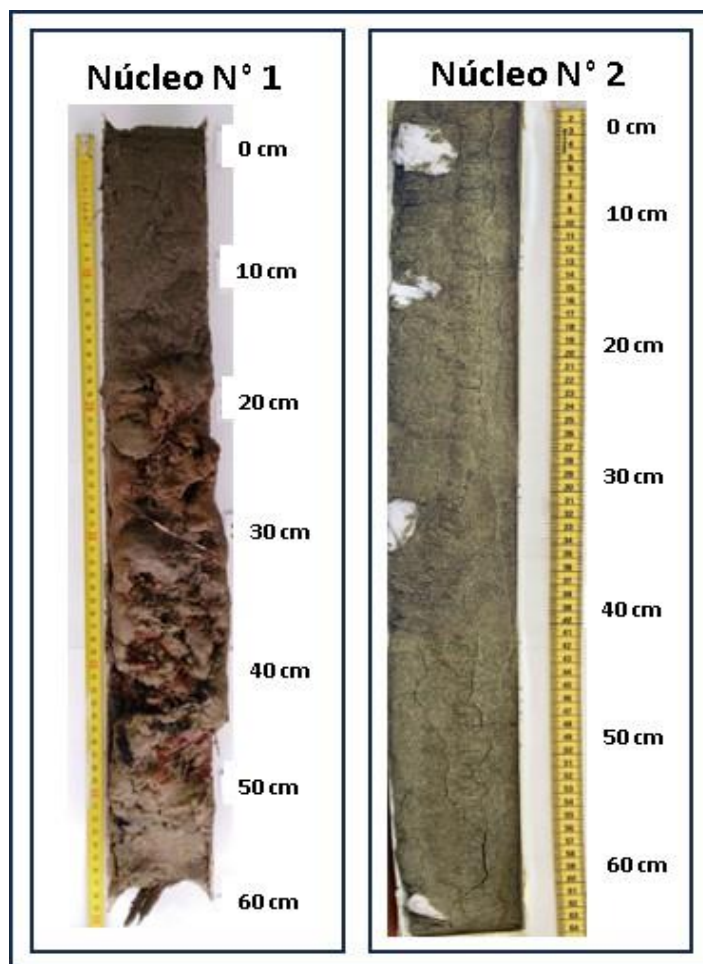
Las muestras obtenidas fueron secadas en una estufa a una temperatura de 55°C durante un periodo de 8 horas para eliminar la humedad. A continuación, se realizó la

caracterización textural de los sedimentos usando procesos de tamizaje e hidrómetro. Por otro lado, se usó el estereomicroscopio OLYMPUS SZX7 con cámara digital integrada para determinar la redondez y esfericidad, así como el análisis mineralógico de los principales componentes. Posteriormente, se realizaron columnas estratigráficas y se definieron unidades litológicas, las cuales fueron estudiadas a detalle desde el punto de vista granulométrico y geoquímico. Los análisis de sedimentos gruesos se realizaron con un espaciamiento de 2 centímetros y un volumen aproximado de entre 40 a 60 gramos. Mientras que, para el análisis de sedimentos de grano fino, el espaciamiento fue de 6 centímetros con un volumen aproximado de 50 gramos.

El análisis de los sedimentos gruesos se realizó usando un tamizado estándar, el mismo que separó los granos de arena en diferentes tamaños de grano siguiendo la escala definida por Wentworth (1922), a través de una serie de 6 tamices, con los siguientes diámetros de malla: N° 10 (2 mm, -1.0  $\emptyset$ ), N° 18 (1mm, 0.0  $\emptyset$ ), N° 35 (0.50 mm, 1.0  $\emptyset$ ), N° 60 (0.25 mm, 2.0  $\emptyset$ ), N° 120 (0.125 mm, 3.0  $\emptyset$ ), N°230 (0.0625 mm, 4.0  $\emptyset$ ) y bandeja N°<230 (< a 0.0625 mm, <4.0  $\emptyset$ ). Por otro lado, el análisis de los sedimentos finos se realizó siguiendo la metodología propuesta por la norma ASTM D7928-17 (ASTM International, 2017) para obtener el tamaño de partículas menores al tamiz N° 230 (0.0625 mm). Se colocó 50 g de muestra fina y 100 ml de agente dispersante (hexametáfosfato de sodio) en un vaso de precipitado y se agitó la mezcla. Después de 20 minutos de reposo, se batió la mezcla durante 2 minutos para asegurar una completa dispersión. Se vertió en el cilindro de sedimentación, se aforó con agua destilada y se agitó durante 1 minuto. Luego, se introdujo el hidrómetro ASTM 152H en la suspensión y se registró las lecturas en tiempos transcurridos de 1, 2, 4, 15, 30, 60 y 120 minutos. Para el análisis morfológico, se utilizó tablas comparativas de estimación visual de redondez y esfericidad (Powers, 1953; Nichols, 2009).

Una vez obtenido el tamaño del grano se lograron determinar los percentiles 1, 5, 16, 25, 50, 75, 84 y 95, los cuales son necesarios para la determinación de los parámetros estadísticos propuestos por Folk and Ward (1957) tales como la media, la desviación estándar, la asimetría y el coeficiente de angulosidad o curtosis. Asimismo, estos

parámetros estadísticos fueron utilizados para la determinación de la discriminación lineal y el diagrama de Passega, los cuales son útiles para la determinación de las condiciones de transporte y procesos de deposición. Por otra parte, con la finalidad de determinar las concentraciones químicas de los elementos presentes, se realizaron análisis geoquímicos en los núcleos usando la pistola portátil de fluorescencia de rayos X modelo S1 Titan 600, con un espaciado de muestreo de 1 centímetro. Para corroborar la relación estadística entre la granulometría y la concentración de los elementos químicos, se realizó el análisis de correlación de Pearson, en el que si  $r=1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa y cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.



**Figura 2.** Fotografías de los núcleos N°1 y N° 2. El núcleo 1 tiene una longitud de 56 cm, mientras que el núcleo 2 tiene una longitud de 64 cm.

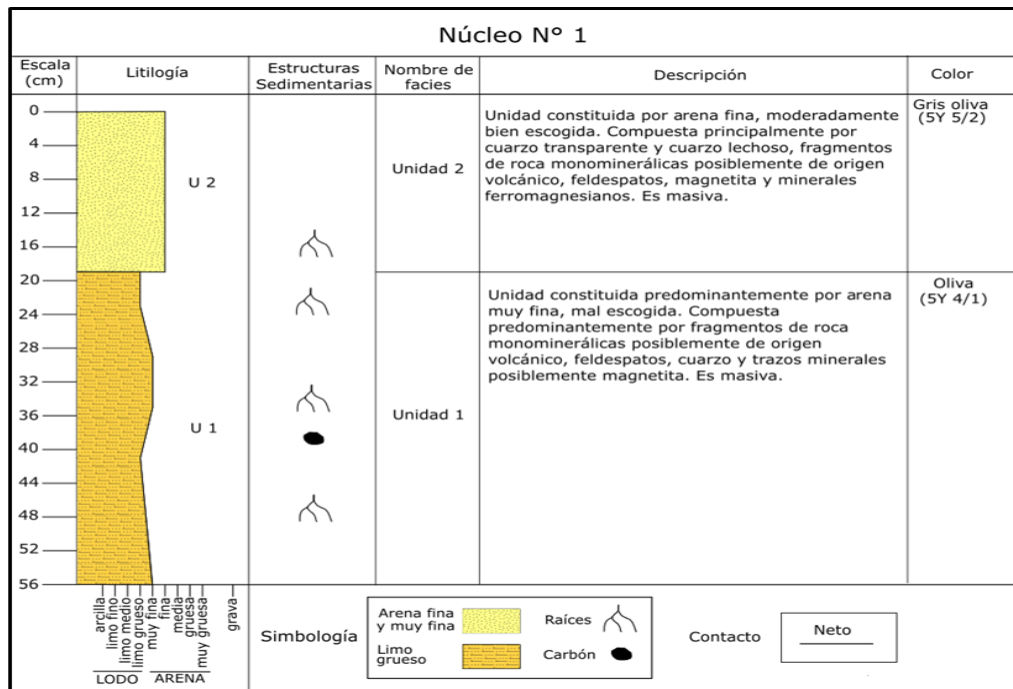
**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

## **Resultados y Discusión**

### **Descripción textural y composicional**

Con el propósito de comprender el comportamiento del transporte y la deposición de los sedimentos, se estudiaron dos núcleos recolectados en dos subambientes del estuario: el núcleo 1, recolectado en la barra interna del estuario y el núcleo 2, en la zona litoral costera. En cada núcleo se identificaron unidades sedimentarias, las cuales fueron caracterizadas textural y composicionalmente, basándose en el tamaño de grano, la esfericidad, la redondez y la composición mineralógica. Se describen a continuación las características texturales y composicionales identificadas en cada unidad sedimentaria de cada núcleo (figura 3).

En el núcleo N° 1, se identificaron 2 unidades sedimentarias (Fig. 3). Hacia la base se identificó la unidad 1, constituida predominantemente por arena muy fina que disminuye localmente hasta limo grueso, mal escogidas, con granos que varían de subangulares a angulares y baja esfericidad. Esta unidad se encuentra constituida predominantemente por fragmentos de roca monominerálicas posiblemente de origen volcánico, que constituye el 60% de la composición total. En menor cantidad presenta 30% de feldespatos, 5% de cuarzo y 5% de trazos minerales, posiblemente magnetita. Además, presenta raíces en la mayor parte de la unidad y contiene restos de carbón de tamaño milimétrico. Es masiva y se encuentra en contacto neto con la unidad 2 superior. La unidad 2, ubicada en el tope, está constituida por arena fina, moderadamente bien escogida, con granos que varían de subangulares a angulares y de moderada a alta esfericidad. Composicionalmente, está constituida principalmente por cuarzo transparente, que constituye el 40%. Con menor presencia presenta 20% de cuarzo lechoso, 10% fragmentos de roca, 10% de feldespatos, 10% magnetita, 5% piroxenos y 5% de anfíboles. En la base de la unidad presenta raíces en posición horizontal. Esta unidad también es masiva (Tabla 1).



**Figura 3.** Columna estratigráfica del núcleo N° 1, con una longitud de 56 cm, en la que se identificaron 2 unidades litológicas. Estas unidades se diferenciaron por sus características texturales y composicionales, así como por sus estructuras sedimentarias y colores específicos distintivos.

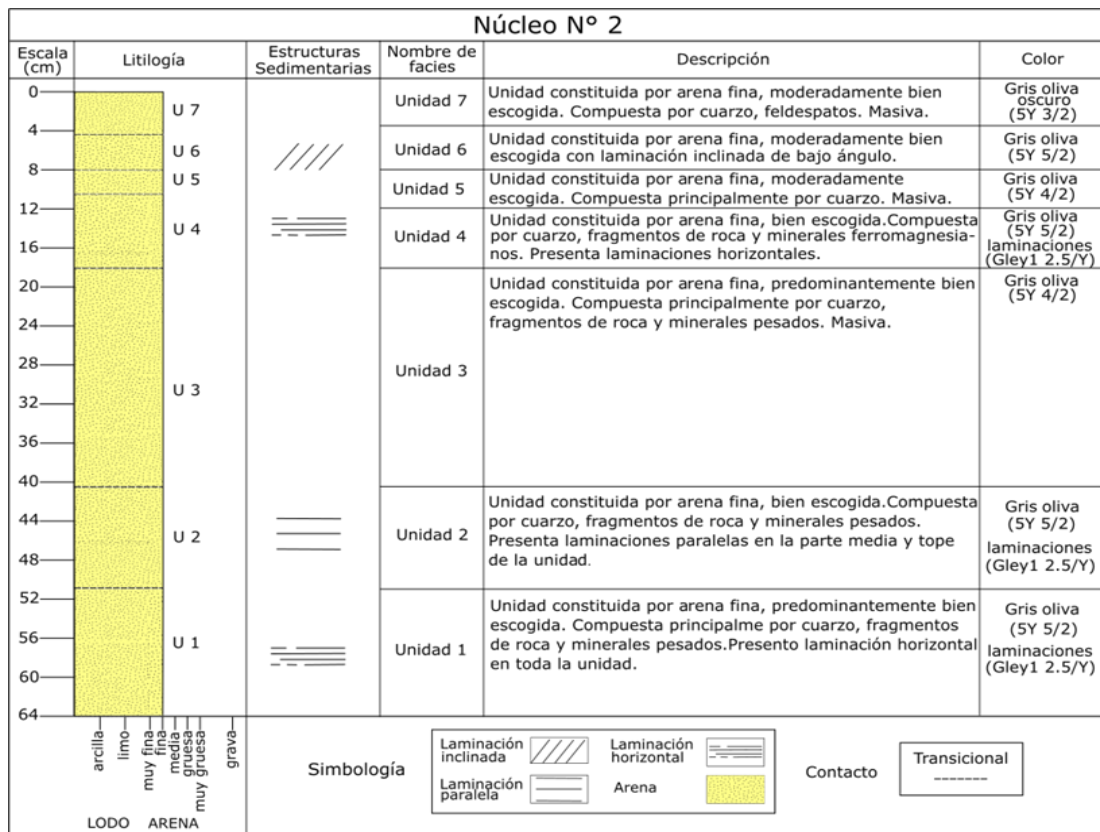
Elaborado por: Alison Haro (2024)

**Tabla 1.** Descripción textural y composicional de la columna estratigráfica del núcleo 1.

Nombre de facies	Descripción
<b>Unidad 2</b>	La unidad tiene un espesor de 17 cm y está constituida por arena fina, moderadamente bien escogida. Los granos varían de subangulares a angulares, de moderada a alta esfericidad. Se encuentra constituida principalmente por cuarzo transparente y cuarzo lechoso, fragmentos de roca monominerálicas posiblemente de origen volcánico, feldespatos, magnetita y minerales ferromagnesianos como piroxenos y anfiboles. En la base de la unidad se observan escasas raíces de color marrón oscuro (7.5YR 2.5/2) en posición horizontal. La unidad presenta una estructura sedimentaria masiva y el contacto con la unidad 1 es neto.
<b>Unidad 1</b>	La unidad tiene un espesor de 39 cm y está constituida predominantemente por arena muy fina que disminuye localmente hasta limo grueso, mal escogida. Los granos varían de subangulares a angulares, de baja esfericidad. Se encuentra constituida predominantemente por fragmentos de roca monominerálicas posiblemente de origen volcánico, feldespatos, cuarzo y trazos minerales posiblemente magnetita. Presenta raíces en la mayor parte de la unidad y contiene restos de carbón de tamaño milimétrico. La unidad es masiva.

Elaborado por: Alison Haro

En el núcleo N° 2, se identificaron 7 unidades sedimentarias (Fig. 4). Hacia la base se encuentra la unidad 1, constituida en su totalidad por arena fina, predominantemente bien escogida, con granos que varían de subangulares a subredondeados y con moderada a alta esfericidad. Composicionalmente, se encuentra constituida mayoritariamente por cuarzo transparente, que constituye el 50% de la composición total. En menor cantidad presenta 15% de cuarzo lechoso, 10% de fragmentos de roca, 10% piroxenos, 5% de feldespatos, 5% de epidota, 4% de anfíboles y 1% de moscovita. Esta unidad presentó laminación horizontal en toda la unidad. Su contacto con la unidad 2 superior es transicional. Las unidades 2, 3 y 4 presentan características texturales y composicionales semejantes a la unidad 1, sin embargo, la unidad 2 presenta laminaciones paralelas incipientes desarrolladas en la parte media y tope de la unidad, la unidad 3 es masiva y la unidad 4 presenta acumulaciones de minerales ferromagnesianos. La unidad 4 presenta un contacto transicional con la unidad 5. La unidad 5, constituida por arena fina, moderadamente bien escogida, con granos que varían de subangulares a angulares y con moderada a baja esfericidad. Esta unidad está constituida predominantemente por fragmentos de roca y cuarzo transparente que constituyen el 38% y 32% respectivamente. En menor cantidad presenta 10% de cuarzo lechoso, 10% piroxenos y 10% de epidota. La unidad es masiva y el contacto con la unidad 6 es transicional. La unidad 6 es similar a la unidad 5, con diferencia de que esta unidad presenta una laminación inclinada de bajo ángulo de 5 mm de espesor. La unidad 7 es idéntica a la unidad 5. Cabe resaltar que todo el núcleo está constituido por magnetita con diámetros menores a 63 micras (Tabla 2).



**Figura 4.** Columna estratigráfica del núcleo N° 2, con una longitud de 64 cm, en la que se identificaron 7 unidades litológicas. Estas unidades se diferenciaron por sus características texturales y composicionales, así como por sus estructuras sedimentarias y color.

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

**Tabla 2.** Descripción textural y composicional de la columna estratigráfica del núcleo 2

Nombre de facies	Descripción
<b>Unidad 7</b>	La unidad tiene un espesor de 4.5 cm y está constituida por arena fina moderadamente bien escogida. Los granos varían de subangulares a angulares, de moderada a alta esfericidad. Se encuentra constituida predominantemente por fragmentos de roca y cuarzo transparente, en menor cantidad cuarzo lechoso, piroxenos y epidota. También, contiene magnetita con diámetros menores a 63 micras. La unidad es masiva y el contacto con la unidad 6 es transicional.
<b>Unidad 6</b>	La unidad tiene un espesor de 3.6 cm y está constituida por arena fina moderadamente bien escogida. Los granos varían de subangulares a angulares, de moderada a alta esfericidad. Se encuentra constituida predominantemente por fragmentos de roca y cuarzo transparente, en menor cantidad cuarzo lechoso, piroxenos y epidota. También, contiene magnetita con diámetros menores a 63 micras. En el tope de la unidad presenta laminación inclinada de bajo ángulo de 5 mm de espesor con acumulaciones de minerales pesados y ferromagnesianos, lo que hace que presenten un color oscuro. El contacto con la unidad 5 es transicional.

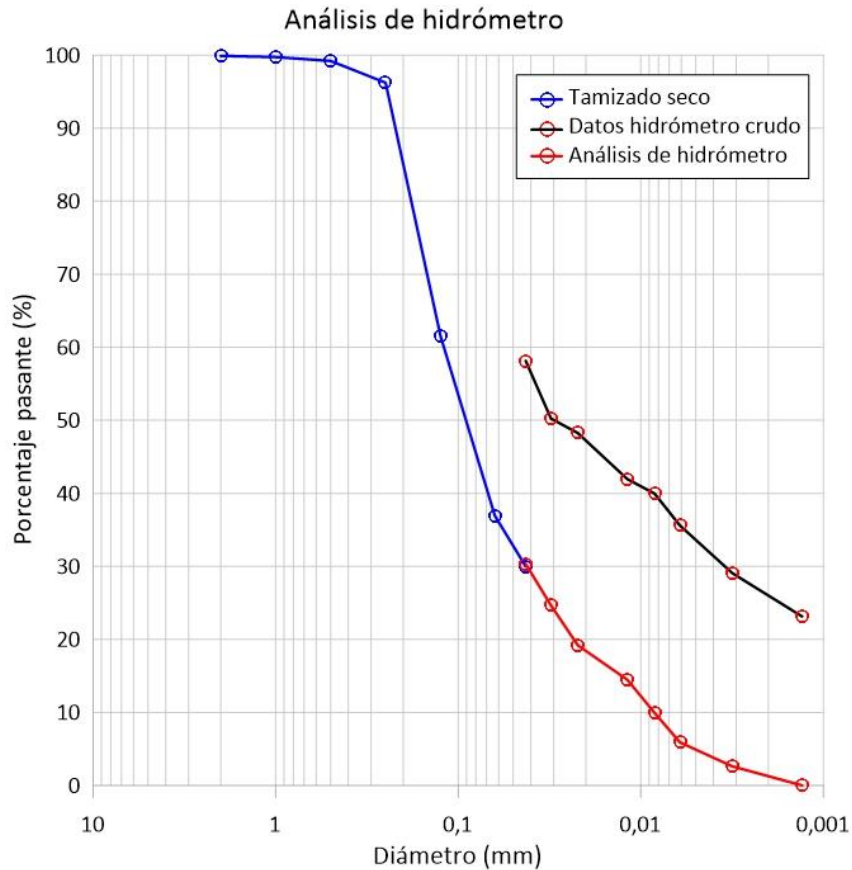
- 
- Unidad 5** La unidad tiene un espesor de 2.7 cm y está constituida por arena fina moderadamente bien escogida. Los granos varían de subangulares a angulares, de moderada a baja esfericidad. Está constituida predominantemente por fragmentos de roca y cuarzo transparente, en menor cantidad cuarzo lechoso, piroxenos y epidota. También, contiene magnetita con diámetros menores a 63 micras. La unidad es masiva y el contacto con la unidad 4 es transicional.
- Unidad 4** La unidad tiene un espesor de 7.2 cm y está constituida por arena fina bien escogida. Los granos varían de subangulares a subredondeados, de moderada a alta esfericidad. Se encuentra constituida principalmente por cuarzo transparente, en menor cantidad cuarzo lechoso, fragmentos de roca, piroxenos, feldespatos, epidota, anfíboles y moscovita. Además, contiene magnetita con diámetros menores a 63 micras. Presenta laminación horizontal con acumulaciones de minerales ferromagnesianos. El contacto con la unidad 3 es transicional.
- Unidad 3** La unidad tiene un espesor de 22.5 cm y está constituida por arena fina, predominantemente bien escogida. Los granos varían de subangulares a subredondeados, de moderada a alta esfericidad. Se encuentra constituida principalmente por cuarzo transparente, en menor cantidad cuarzo lechoso, fragmentos de roca, piroxenos, feldespatos, epidota, anfíboles y moscovita. Además, contiene magnetita con diámetros menores a 63 micras. La unidad es masiva y el contacto con la unidad 2 es transicional.
- Unidad 2** La unidad tiene un espesor de 10.8 cm y está constituida por arena fina bien escogida. Los granos varían de subangulares a subredondeados, de moderada a alta esfericidad. Se encuentra constituida principalmente por cuarzo transparente, en menor cantidad cuarzo lechoso, fragmentos de roca, piroxenos, feldespatos, epidota, anfíboles y moscovita. Además, contiene magnetita con diámetros menores a 63 micras. Presenta laminaciones paralelas incipientes desarrolladas en la parte media y tope de la unidad con acumulaciones de minerales pesados y ferromagnesianos, lo que les da un color oscuro. El contacto con la unidad 1 es transicional.
- Unidad 1** La unidad tiene un espesor de 12.7 cm y está constituida por arena fina predominante bien escogida. Los granos varían de subangulares a subredondeados, de moderada a alta esfericidad. Se encuentra constituida principalmente por cuarzo transparente, en menor cantidad cuarzo lechoso, fragmentos de roca, piroxenos, feldespatos, epidota, anfíboles y moscovita. Además, contiene magnetita con diámetros menores a 63 micras. Esta unidad presenta laminación horizontal en toda la unidad.
- 

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

### **Parámetros estadísticos y entorno deposicional**

Para comprender el proceso de transporte y la depositación de sedimentos, se emplearon varios parámetros que describen estadísticamente las propiedades del tamaño de las partículas en un depósito, descritos en unidades phi. Estos valores fueron establecidos por Folk and Ward y han sido utilizados en varios estudios (Friedman, 1961; Elsherif, Badawi and Abdelkader, 2020).

Para realizar estos análisis estadísticos y el cálculo de los percentiles en los núcleos que contenían tanto sedimentos gruesos como finos se emplearon datos obtenidos mediante análisis de tamizado e hidrómetro. A partir de los cuales se construyeron curvas granulométricas compuestas con los resultados de ambas técnicas, como se representa en el ejemplo de la figura 5, determinado para la primera muestra de la unidad 1 del núcleo N° 1.



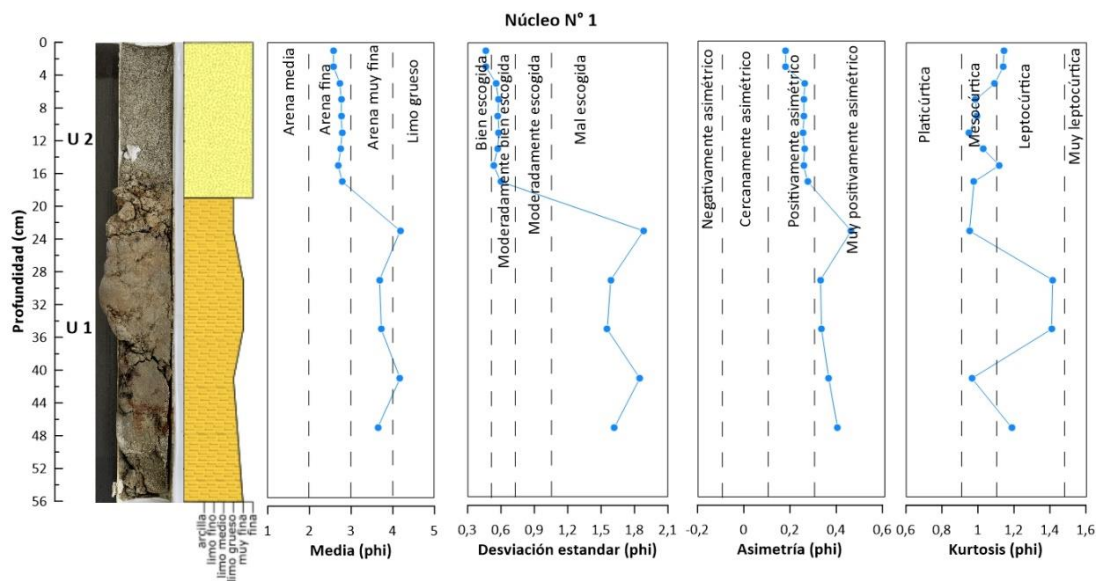
**Figura 5.** Curva granulométrica que incluye el tamizado seco (azul), los datos crudos del hidrómetro (negro) y análisis de hidrómetro (rojo), representando la distribución del tamaño de partículas del núcleo 1, unidad 1. Esta curva proporciona una visión integral de la distribución granulométrica, permitiendo una evaluación detallada entre métodos de tamizado y medición del hidrómetro

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

Los análisis estadísticos llevados a cabo en el núcleo 1 (Fig. 6) indican dos unidades sedimentarias con comportamientos granulométricos totalmente diferentes, definidas como unidad 1 y unidad 2. La unidad 1, se caracteriza por ser de tamaño de grano predominante de arena muy fina (3,5  $\Phi$ ), que varía localmente a limo grueso (4,1  $\Phi$ ). La

variación estándar indica que los sedimentos presentan un mal escogimiento ( $0.49 \Phi$ ) en toda la unidad. Mientras que, la asimetría a lo largo de la unidad es constante, manteniéndose en muy positivamente asimétrica ( $0.4 \Phi$ ). En cuanto a la curtosis, muestra una mayor variación a lo largo de la unidad, con valores que oscilan entre mesocúrtica ( $0.9 \Phi$ ) y leptocúrtica ( $1,4 \Phi$ ), un 60% de los valores se mantiene en leptocúrtica. Por otro lado, la unidad 2, está constituida en su totalidad por arena fina ( $2.5 \Phi$ ), con una desviación estándar que indica una predominancia de sedimento moderadamente bien escogida ( $0.72 \Phi$ ).

Por su parte, la asimetría de la unidad 2 presenta en su totalidad valores positivamente asimétricos ( $0.28 \Phi$ ). Finalmente, la curtosis de esta unidad varía ligeramente entre mesocúrtica ( $0.9 \Phi$ ) a leptocúrtica ( $1.1 \Phi$ ).

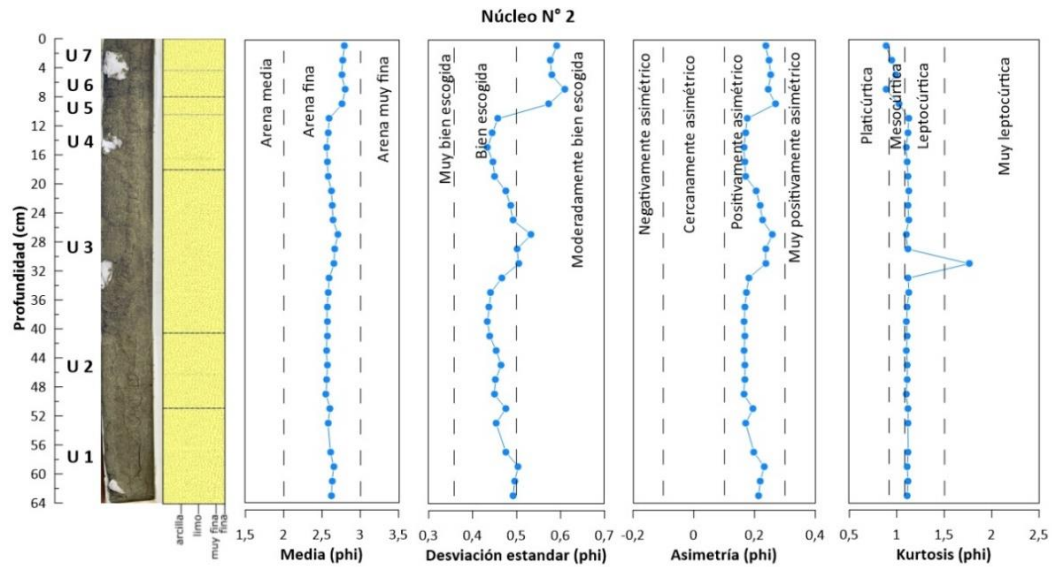


**Figura 6.** Perfiles de los parámetros estadísticos del núcleo N° 1. Se presenta una columna estratigráfica simplificada, su distribución granulométrica, la desviación estándar, asimetría y curtosis a lo largo del núcleo.

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

Los análisis estadísticos llevados a cabo en el núcleo 2 (Fig. 7) indican que el tamaño de grano medio de los sedimentos corresponde a arenas finas (100%). La desviación estándar oscila entre bien escogido ( $0.45 \Phi$ ) a moderadamente bien escogida ( $0.60 \Phi$ ), predominando un buen escogimiento. Por su parte, los valores de asimetría indican que

los sedimentos se mantienen positivamente asimétricos ( $0.2 \Phi$ ). En cuanto a la curtosis, sus valores revelan una gran variación, con datos que van desde platicúrtica ( $0.9 \Phi$ ) a muy leptocúrtica ( $1.8 \Phi$ ), un 90% de sus muestras indican que los sedimentos se concentran predominantemente en leptocúrtica.



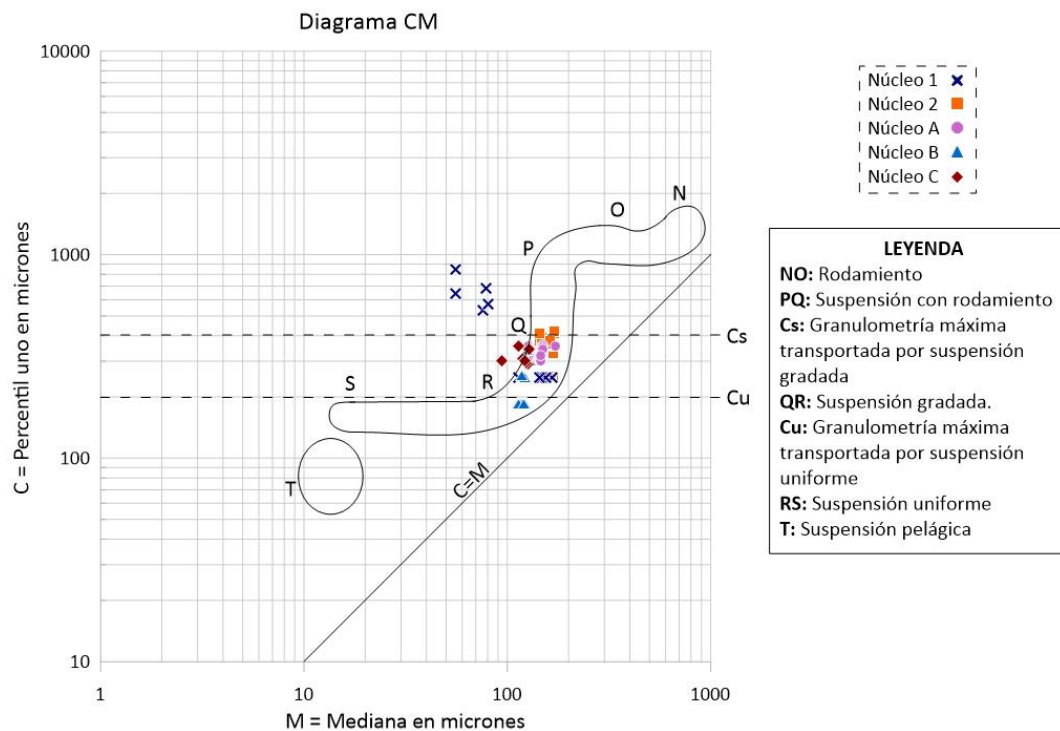
**Figura 7.** Perfiles de los parámetros estadísticos del núcleo N° 2. Se presenta una columna estratigráfica simplificada, su distribución granulométrica, la desviación estándar, asimetría y curtosis a lo largo del núcleo.

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

Para entender los procesos de transporte y deposición que afectaron a los sedimentos en varios subambientes sedimentarios del estuario, se empleó el diagrama de Passega (1964). El método se fundamenta en representar el porcentaje correspondiente al percentil uno (1%) de la curva acumulativa, identificado como "C", que indica el tamaño de grano máximo de la muestra, en comparación con la mediana, que refleja el tamaño de grano promedio del sedimento transportado, identificado como "M". Al diagrama se incorporaron los puntos de muestra encontrados por Alvarado et al. (2023) correspondientes a tres núcleos realizados (A, B, C) en el área de estudio.

Una vez realizado el diagrama de Passega (Fig. 8), se identificó que las muestras de los núcleos 1, 2, A, B y C y 2 presentan una notable dispersión. Debido a que las muestras de la unidad 2 del núcleo 1 y todas las muestras del núcleo 2 se concentraron en "C",

con tamaños de grano que oscilan entre 200  $\mu\text{m}$  y 400  $\mu\text{m}$ . Esta tendencia también se observa en las muestras de los núcleos A, B y C, aunque dos muestras del núcleo B presentan valores de "C" de 186  $\mu\text{m}$ . Mientras que, las muestras de la unidad 1 del núcleo 1 muestran una concentración en "C" con valores que van desde 400  $\mu\text{m}$  hasta 900  $\mu\text{m}$ . Asimismo, los valores de "M" muestran una tendencia dispersa, con medianas que varían entre 90  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$  para la unidad 2 del núcleo 1, el núcleo 2, parte de las muestras del núcleo B y el núcleo C, caracterizándose por una suspensión grada (QR). Por otro lado, las muestras de la unidad 1 del núcleo 1 muestran una suspensión con rodamiento (PQ) ya que sus valores van desde 50  $\mu\text{m}$  a 90  $\mu\text{m}$ . Además, dos muestras del núcleo B entran en el segmento de suspensión uniforme (RS).

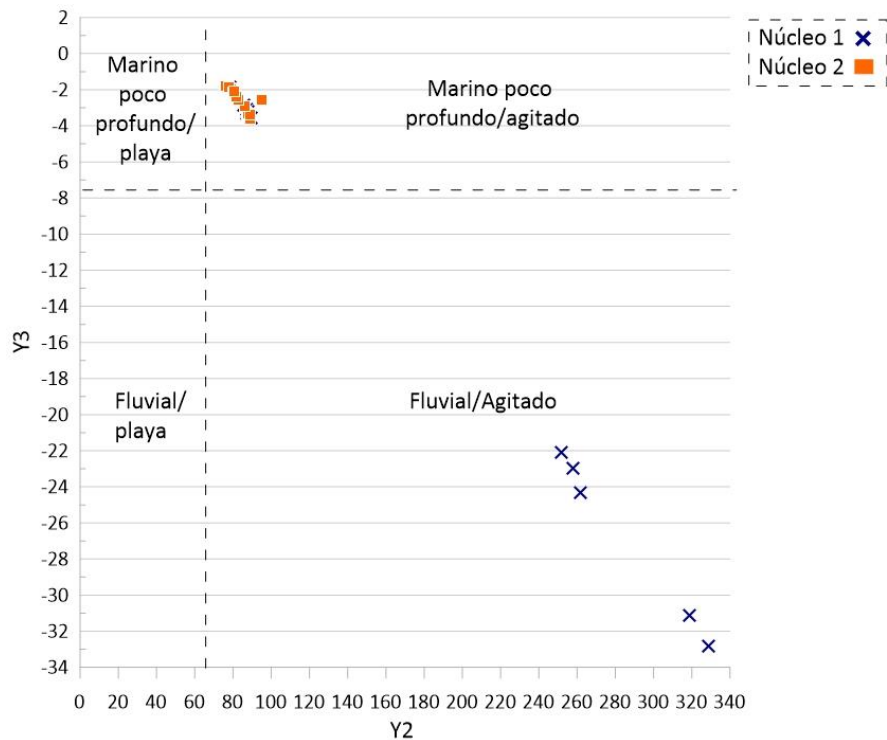


**Figura 8.** Representación de las muestras de los núcleos 1 y 2 en el Diagrama CM de Passega en el que se muestra el modo de transporte entre el percentil C y la mediana M. Al cual se incorporaron las muestras A, B y C analizadas por Alvarado et al. (2023).  
**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

Para comprender las variaciones energéticas en los diversos subambientes depositacionales, se empleó la función discriminante lineal "LDF", el cual se utiliza para interpretar las diferencias de energía en diferentes ambientes depositacionales (Sahu, 1964). La función LDF puede emplear hasta cuatro ecuaciones denominadas; Y1, Y2, Y3

y Y4 las cuales se calculan en base a los datos de media, desviación estándar, asimetría y curtosis. En la presente investigación se determinó que las ecuaciones más útiles fueron las denominadas Y2 y Y3. La ecuación Y2 se emplea para diferenciar entre procesos de depositación en ambientes de playa y en ambientes marinos agitados de poca profundidad. La ecuación se define como:  $Y2 = 15.6534Mz + 65.7091\sigma I2 + 18.1071SkI + 18.5043KG$ . Si Y2 es menor a 65.3650, indica deposición en la playa, mientras que, si es mayor, la depositación ocurre en ambientes de mar agitado y poco profundo. La ecuación Y3, por su parte discrimina entre procesos de depositación en ambientes marinos poco profundos y en ambientes fluviales, definiendo a la ecuación como:  $Y3 = 0.2852Mz - 8.7604\sigma I2 - 4.8932SkI + 0.0482KG$ . Si Y3 es menor a 7.419, sugiere un depósito fluvial; si es mayor a 7.419, indica un depósito marino poco profundo.

En base a los resultados del análisis de la función discriminante lineal, se realizaron diagramas cruzados de los valores obtenidos para Y2 y Y3. Las correlaciones cruzadas de las ecuaciones Y2 y Y3 indican que los sedimentos de los núcleos 1 y 2 sufrieron diferentes procesos de transporte. En el núcleo 1, se identificó una división clara de las unidades definidas en función de la litología, denominadas unidades 1 y 2, ubicadas dentro del diagrama (Fig. 9). La unidad 1, ubicada en la base del núcleo 1 se encuentra dentro del dominio de ambiente fluvial/agitado, mientras que la unidad 2, situada en el tope del núcleo 1, se ubica dentro del campo marino poco profundo/agitado. Por su parte, todas las muestras del núcleo 2 se encuentran dentro del dominio de procesos de ambiente marino poco profundo/agitado.

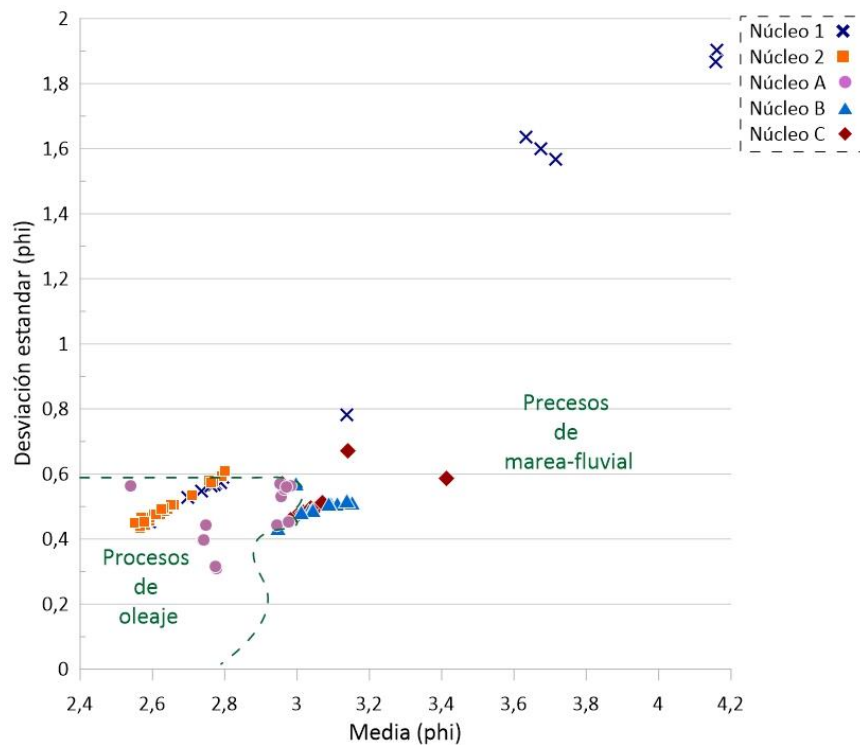


**Figura 9.** Discriminación de ambientes basados en el gráfico de funciones de discriminante lineal, según (Elsherif et al., 2020; Sahu, 1964). Se presentan las muestras obtenidas del núcleo 1 y núcleo 2. **Elaborado por:** Alison Haro (2024).

Para realizar el análisis de los procesos de transporte y sedimentación, también se emplean diagramas cruzados de los parámetros estadísticos: media, desviación estándar y curtosis (Sutherland and Lee, 1994). En el área de estudio, Alvarado et al. (2023) propone los diagramas cruzados de desviación estándar versus media y asimetría versus media como indicadores de procesos dominados por oleaje y marea-fluvial. En el presente trabajo, se graficaron los datos obtenidos de desviación estándar y media, así como de asimetría y media, sobre los diagramas propuestos por Alvarado et al. (2023) para confirmar su efectividad en la determinación de los procesos de transporte y depositación presentes en nuestra área de estudio.

Al graficar la desviación estándar versus la media (Fig. 10), se puede observar que en el núcleo 1 se diferencian claramente dos unidades estratigráficas. En la base del núcleo, definido como la unidad 1 se ubica dentro del campo discriminado por Alvarado et al. (2023) como procesos de transporte predominantemente por marea-fluvial mientras

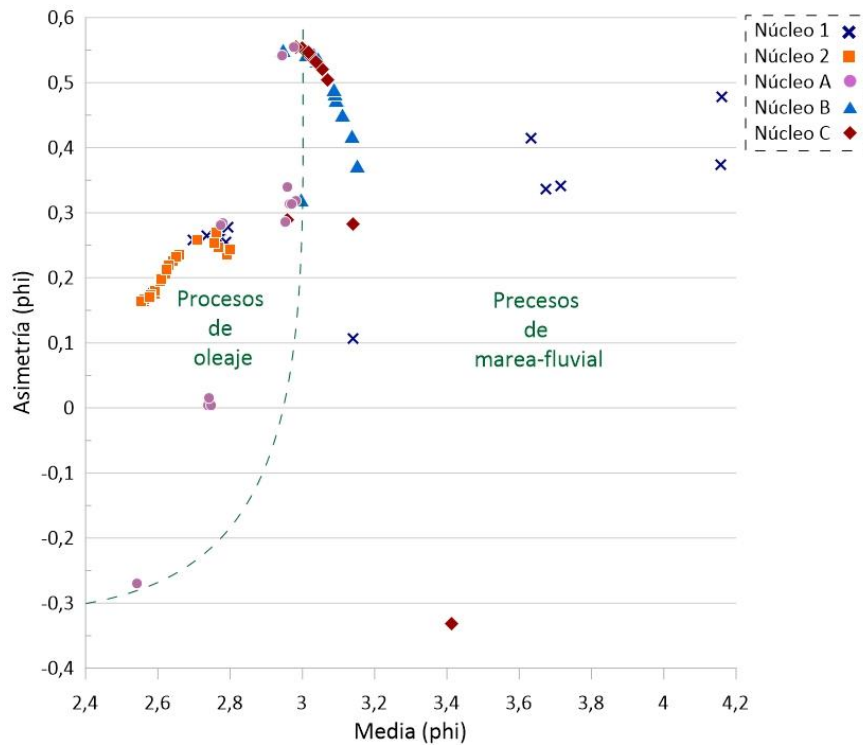
que el tope del núcleo 1, denominado unidad 2, se encuentra dentro del campo de procesos de transporte dominados por oleaje. En cuanto al núcleo 2, la gráfica muestra que las muestras se sitúan predominantemente en el campo de procesos de transporte dominados por oleaje, aunque algunas muestras se encuentran dentro del campo de procesos de marea-fluvial. Los valores de media varían entre  $2.5 \Phi$  a  $4.3 \Phi$ , y la desviación estándar  $0.3 \Phi$  y  $1.9 \Phi$ .



**Figura 10.** Diagrama interpretativo de los procesos predominantes. Se presenta la relación entre el tamaño medio frente a la desviación estándar. Se incorporan las muestras obtenidas por Alvarado et al. (2023) definidas como A, B y C.  
**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

Por otra parte, al graficar los parámetros de media versus asimetría en el diagrama propuesto por Alvarado et al. (2023), muestra igualmente que las dos unidades estratigráficas del núcleo 1 se distribuyen en procesos de transporte muy bien diferenciados (Fig. 11). La unidad 1, ubicada en la base del núcleo, se encuentra en el dominio de transporte definido por Alvarado et al. (2023) como procesos de marea-fluvial, mientras que la unidad 2, situada en el tope del núcleo, se ubica en el dominio de procesos predominantemente por oleaje. Por otro lado, la mayoría de las muestras

del núcleo 2 se ubican principalmente, no obstante, otras muestras se encuentran en el dominio de transporte denominado marea fluvial. Los valores de media del núcleo varían entre  $2.5 \Phi$  a  $4.3 \Phi$ , y la asimetría entre  $-0.33 \Phi$  y  $0.6 \Phi$ .



**Figura 11.** Diagrama interpretativo de los procesos predominantes. Se presenta la relación entre el tamaño medio frente a la asimetría. Se incorporan las muestras obtenidas por Alvarado et al. (2023) definidas como A, B y C.

Elaborado por: Alison Haro (2024)

### Energía-condiciones de transporte y deposición

En base a los análisis realizados se evidencia que el núcleo 1 fue depositado en un ambiente de energía variable, debido a que los sedimentos presentan mala escogencia en un 70% del núcleo, específicamente en la unidad 1, y un 30% predominantemente de buena escogencia en la unidad 2. La unidad 2 del núcleo 1, y el núcleo 2 tienen comportamientos texturales y composicionales similares, puesto que los valores de media muestran que el tamaño del grano promedio corresponde a arena fina ( $2.5 \Phi$ ), con moderada buena escogencia para la unidad 2 y predominantemente bien escogida para el núcleo 2. Lo encontrado es corroborado por Allen (1979) quien indica

que los ambientes dominados por ambiente marinos típicamente exhiben condiciones de alta energía que resultan en la separación de partículas finas y una mejor escogencia de sus sedimentos. En cuanto a la asimetría, en promedio fue positiva para la unidad 2 y muy positiva para el núcleo 2 ( $0.25 \Phi$ ), con valores de curtosis en la unidad 2 que varía en promedio entre  $0.9 \Phi$  y  $1.0 \Phi$  y del núcleo 2 en promedio  $1.2 \Phi$ .

Con respecto a las estructuras sedimentarias, se evidencio laminaciones bien marcadas en el núcleo 2 (Fig. 3), mientras que el núcleo 1 (Fig. 4) no se evidencio estructuras sedimentarias. Las laminaciones del núcleo 2 varían de 0.5 a 1.5 cm, y fueron definidas como laminación inclinada, horizontal y paralela. La laminación inclinada en el tope del núcleo 2 puede deberse a condiciones de transporte de sedimentos de energía moderada, que facilitaron la migración de sedimentos en una dirección predominante, probablemente relacionada con la formación de ondulaciones o rizaduras (Nichols, 2009). La laminación horizontal en la parte media del núcleo sugiere condiciones de transporte de sedimentos de alta en energía, dando así la formación de laminación paralela en el cual la disminución de la energía proveniente predominantemente de las olas, los sedimentos se asientan y forman capas de arena paralelas (Reineck and Singh, 1972).

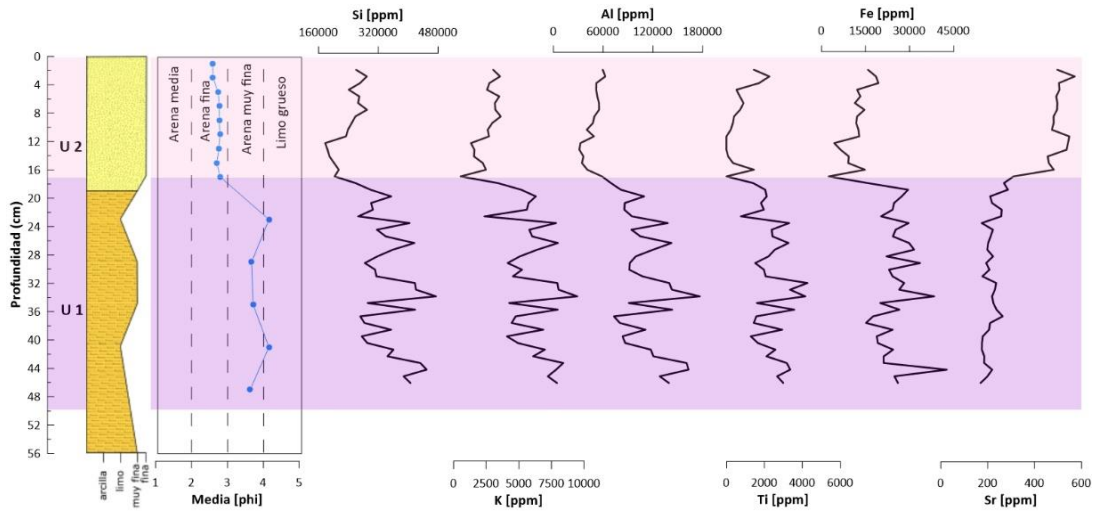
Además, se identificaron raíces y carbón en toda la unidad 1 y en la base de la unidad 2 del núcleo 1, lo que sugiere un entorno cálido con presencia de manglares. Estos manglares favorecen la acumulación de sedimentos debido a la retención de partículas por las raíces y la reducción de la velocidad del agua, promoviendo la sedimentación orgánica y mineral. La presencia de estos elementos orgánicos es indicativa de la influencia de ecosistemas terrestres adyacentes en la sedimentación estuarina, reforzando la interacción entre ambientes marinos y continentales en la formación de estos depósitos (Chaudhuri and Ghosh, 2019). Esto es explicado por las gráficas de discriminación lineal (Fig. 9) en las cuales se identificó que el núcleo 1, está influenciado por un ambiente marino poco profundo/agitado, y fluvial/agitado, mientras que el núcleo 2 por un ambiente marino poco profundo/agitado. Por otra parte, los gráficos de diagrama cruzados de los parámetros estadísticos (Fig. 10 y 11) revelan que el transporte

de los sedimentos del núcleo 1 están dentro de dos dominios; por proceso de olas y marea-fluvial, mientras que el núcleo 2 por procesos de olas. Estos hallazgos sugieren que el núcleo 1 se encuentra en un ambiente variable, donde la interacción entre las olas y las mareas fluviales influyen en la sedimentación. En contraste, el núcleo 2 está mayormente afectado por la acción de las olas, indicando un ambiente con menor influencia fluvial.

### **Análisis geoquímico**

De acuerdo al análisis geoquímico a través del espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X, se detectaron señales geoquímicas de 19 elementos químicos: Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Ba y Pb. Sin embargo, los elementos químicos de interés para este estudio son los siguientes: Silicio (Si), Aluminio (Al), Potasio (K), Hierro (Fe), Titanio (Ti) y Estroncio (Sr) (Fig. 12). La concentración de estos elementos varió con respecto a cada núcleo analizado.

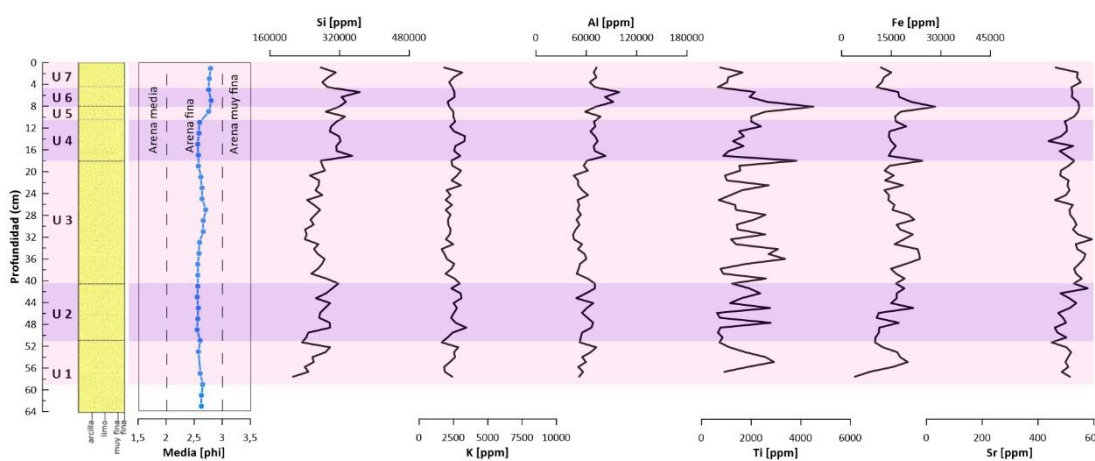
El núcleo 1 mostró variaciones en las concentraciones según sus unidades (Fig. 12). La unidad 1 presentó concentraciones de Si, K, Al, Ti y Fe, con una variación de Si entre 266.000 ppm y 470.000 ppm, mientras que K varió entre 2.300 ppm y 9.400 ppm. La concentración de Al, entre 72.800 ppm y 180.000 ppm, Ti entre 759 ppm y 4.300 ppm, y Fe entre 15.000 ppm y 38.000 ppm. En cuanto al Sr, se encontraron valores bajos, variando entre 170 ppm y 300 ppm. En contraste, la unidad 2 mostró una menor concentración de estos elementos en comparación con la unidad 1, Si varió entre 170.000 ppm y 300.000 ppm, K varió entre 500 ppm y 3.700 ppm, Al fluctuó entre 31.000 ppm y 70.000 ppm, Ti entre 88 ppm y 2.300 ppm, y Fe entre 2.400 ppm y 20.000 ppm. Sin embargo, el Sr presentó valores más altos, que variaron entre 250 ppm y 600 ppm.



**Figura 12.** Distribución granulométrica y perfiles geoquímicos del Si, K, Al, Ti, Fe y Sr en el núcleo 1, a 56 cm de profundidad. La unidad 1 se encuentra representada en color violeta y la unidad 2 en rosado.

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

El núcleo 2 mostró valores más constantes en las concentraciones de los elementos químicos estudiados, similares a los descritos en la unidad 2 del núcleo 1 (Fig. 13). Las concentraciones de los elementos son las siguientes: Si varió entre 213.000 ppm y 349.000 ppm, K entre 1.600 ppm y 3.000 ppm, Al entre 44.000 ppm y 100.000 ppm, Ti entre 620 ppm y 3.800 ppm, Fe entre 8.500 ppm y 30.000 ppm, y Sr varió entre 460 ppm y 600 ppm.



**Figura 13.** Distribución granulométrica y perfiles geoquímicos del Si, K, Al, Ti, Fe y Sr en el núcleo 2, a 64 cm de profundidad.

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)

## **Interpretación de los parámetros geoquímicos en función de la textura y ambiente deposicional**

En los núcleos 1 y 2 se observaron variaciones marcadas en las concentraciones de los elementos químicos Si, K, Al, Ti, Fe, y Sr. En el núcleo 1, se apreció que la unidad está constituida predominantemente por arena fina, que localmente disminuye a limo grueso, mientras que la unidad 2 se encuentra constituida únicamente por arena fina. Estos cambios notables en el tamaño de grano presentan un patrón similar al de la concentración de los elementos Si, Ti, K, Al, Fe y Sr en el núcleo 1, sugiriendo que la concentración de estos elementos puede ser sensible a variaciones granulométricas. Esto se confirma con el análisis de correlación de Pearson, que muestra una fuerte relación lineal entre la granulometría de los sedimentos finos y la concentración geoquímica de Si, K, Al, Ti y Fe. Los coeficientes de determinación  $R^2$  obtenidos fueron 0.91 para Si, 0.82 para K, 0.98 para Al, 0.98 para Ti y 0.86 para Fe. Estos valores sugieren que la granulometría de los sedimentos finos es un buen predictor de la concentración de estos elementos, corroborando que presentan un patrón similar a la variación del tamaño del grano. Sin embargo, el valor de  $R^2 = 0.66$  para Sr indica una relación débil en comparación con los otros elementos, confirmando que, aunque Sr mostró cierta correlación con la granulometría, su patrón es menos pronunciado (ver Figura 1, Anexo).

Para el núcleo 2, constituido por arenas finas, no se encontró una relación significativa entre la granulometría y la concentración de elementos geoquímicos. Los coeficientes de determinación  $R^2$  obtenidos fueron de 0.17 para Si, 0.10 para K, 0.03 para Al, 0.74 para Ti, 0.50 para Fe y 0.04 para Sr, lo que significa que, a diferencia del núcleo 1, la distribución de los elementos como Si, Ti, K, Al, Fe y Sr en el núcleo 2 no está controlada por el tamaño del grano (ver Figura 2, Anexo). Esto podría deberse a la homogenización de los elementos en arenas fino o a la influencia de otros factores como las condiciones de depósito o la fuente de los sedimentos. Por ejemplo, Horowitz y Elrick (1987) indican que, en sedimentos de corriente, para fracciones de tamaño de grano más grueso ( $>125 \mu\text{m}$ ), como lo encontrado en el núcleo 2 (Fig. 8), la influencia de las fases geoquímicas en la química de los elementos es menos pronunciada, reforzando la idea de que las

correlaciones pueden ser más débiles en arenas finas. Estas observaciones sugieren que, en ciertos entornos sedimentarios, la granulometría puede no ser un factor dominante en la distribución de elementos geoquímicos, particularmente en sedimentos más gruesos.

La alta concentración de Sr en la unidad 2 del núcleo 1 y concentraciones bajas de Si, K, Al, Ti, Fe, sugieren que la unidad 2 se ubica dentro de un ambiente con influencia marina, puesto que Richter et al (2006) y Rothwell and Coudace (2015) revelan que la alta concentración de este elemento (Sr) es característico de ambientes con influencia marina, mientras que la alta concentraciones de Fe son provenientes de ambientes continentales. Lo que se podría inferir que la alta concentración de Fe en la unidad 1 del núcleo 2 podría estar relacionada también por influencia continental. El comportamiento de los elementos núcleo 2 (Fig. 12) son similares a los encontrados en la unidad 2 del núcleo 1, en particular la concentración de Sr es concordante a lo encontrado en la unidad 1 del núcleo 1, lo cual sugiere que existe mayor influencia marina sobre este núcleo.

### **Interpretación de los parámetros texturales y condiciones depositacionales en función de los parámetros geoquímicos**

El núcleo 1 está constituido por dos unidades estratigráficas, definidas como unidad 1 y 2, los sedimentos varían de arenas muy finas y disminuye localmente a limo grueso. La unidad 1, denominada como la base del núcleo, según el diagrama de Passega indica que los sedimentos son transportados y depositados por suspensión con rodamiento y suspensión gradada. Además, en la unidad 1, existen transiciones hacia fracciones más gruesas, este cambio granulométrico sugiere diferentes condiciones de deposición debido a variaciones en la energía del medio deposicional. En cuanto a las concentraciones de los elementos químicos, se observa que el Si, Al, Fe, K y Ti varían a lo largo del perfil de la unidad 1. Mientras, que en la unidad 2, las concentraciones de estos elementos son relativamente estables, indicando un ambiente deposicional homogéneo. El contacto neto entre la unidad 1 y 2 sugiere un cambio significativo en el

proceso deposicional, lo que es consistente con las diferencias granulométricas observadas. Estos hallazgos son similares a lo reportado por Leoni et al. (1991), quienes indican que en unidades estratigráficas con presencia de arcilla y limo hay mayor concentración de elementos como de Al, Fe, Ti y K, los cuales son evidentes en la unidad 1.

Por otra parte, se observó que el núcleo 2 está constituido en su totalidad por arena fina y presenta una textura homogénea, puesto que no se evidencian diferencias marcadas en las unidades estratigráficas como en el núcleo 1. Se determinó también que las condiciones de deposición de los sedimentos están influenciadas por suspensión gradada, con influencia predominantemente por procesos de oleaje. Con respecto, a las concentraciones de los elementos geoquímicos se encontró que son similares a los reportados la unidad 2 del núcleo 1.

Bajo este contexto, es evidente que los cambios en las condiciones de deposición influyen en las concentraciones de elementos geoquímicos dentro del estuario. Dalrymple, Zaitlin, & Boyd, (1992) mencionan que, en la parte interior de los estuarios, dominada por los ríos, el transporte fluvial favorece la deposición de sedimentos con mayor variabilidad en el tamaño de grano y una disminución gradual en el tamaño de la arena a medida que se avanza hacia el mar. Esta variabilidad podría afectar las concentraciones de elementos como el silicio (Si), aluminio (Al), hierro (Fe), potasio (K) y titanio (Ti), que varían a lo largo del perfil sedimentario del núcleo 1. En contraste, en la parte exterior de los estuarios, donde los procesos marinos predominan, el tamaño de la arena disminuye en dirección hacia el continente, y las concentraciones de estos elementos tienden a ser más estables, indicando un ambiente deposicional más homogéneo, como lo encontrado en el núcleo 2 (Nichols, 2009 & Boggs, 2006).

### **Condiciones depositacionales y ambientales en el estuario del río Bunche**

El núcleo 1, ubicado en la barra interna del estuario, muestra que la sedimentación fue influenciada por dos procesos de transporte distintos. La base de la unidad se depositó

en un ambiente de energía variable, con condiciones predominantemente continentales, evidenciado por la alta concentración de Fe, Ti, K y Al. Sin embargo, estas condiciones cambiaron abruptamente a un ambiente marino en el tope del núcleo, caracterizado por la presencia predominante de partículas finas con mayor concentración de Sr.

El núcleo 2, tomado en la barra litoral del estuario presenta en general granos de arena fina en todo el núcleo, los sedimentos revelan un buen escogimiento, los cuales predominantemente son transportados mediante saltación gradada y depositados por procesos de oleaje. La concentración de elementos geoquímicos muestra fluctuaciones similares en todo el núcleo, lo cual es evidente tanto en la granulometría constante y la homogeneidad del núcleo. En particular el contenido de Sr y Fe sirvió como indicadores para comprender las fuentes de deposición en los núcleos 1 y 2.

## Conclusión

La investigación proporcionó una comprensión más detallada y específica de la variabilidad granulométrica y las características sedimentarias en el estuario estudiado. A diferencia del estudio de Alvarado et al., (2023), este estudio incluyó el análisis geoquímico de los sedimentos lo que permitió una mejor comprensión de las fuentes y ambiente de deposición de los sedimentos. El núcleo 1, ubicado en la barra interna del estuario, muestra una distribución granulométrica menos homogénea con tamaños de grano que varían de arena muy fina a limo grueso. Estos sedimentos presentan una tendencia de mal escogencia a moderadamente bien escogida, asimetría mayormente positiva y una naturaleza mesocúrtica, características de un ambiente de baja energía. Se identificó que el modo de transporte de los sedimentos del núcleo 1 varía entre suspensión con rodamiento y suspensión gradada, influenciado tanto por ambientes marinos como continentales. La presencia de elevadas concentraciones de elementos como Si, K, Al, Ti, Fe y Sr indica una significativa influencia mixta en estos sedimentos.

Por otro lado, el núcleo 2 situado en la barra litoral del estuario, revela un perfil estratigráfico más homogéneo compuesto por arena fina bien escogida, con asimetría positiva y naturaleza leptocúrtica. Este núcleo muestra un modo de transporte por suspensión gradada a lo largo de todo el perfil, predominantemente influenciado por un ambiente marino. Las concentraciones moderadas de Si, K, Al, Fe, Ti y las elevadas de Sr refuerzan la influencia marina en estos sedimentos. Además, la identificación detallada de las concentraciones de Sr y Fe ha sido importante para determinar la procedencia de los sedimentos, proporcionando una mejor interpretación de las influencias ambientales en el estuario. Este enfoque representa un aporte significativo que no fue abordado en la investigación anterior de Alvarado et al., (2023) y, además, permitió identificar relaciones entre el tamaño de los granos y la concentración de los elementos geoquímicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

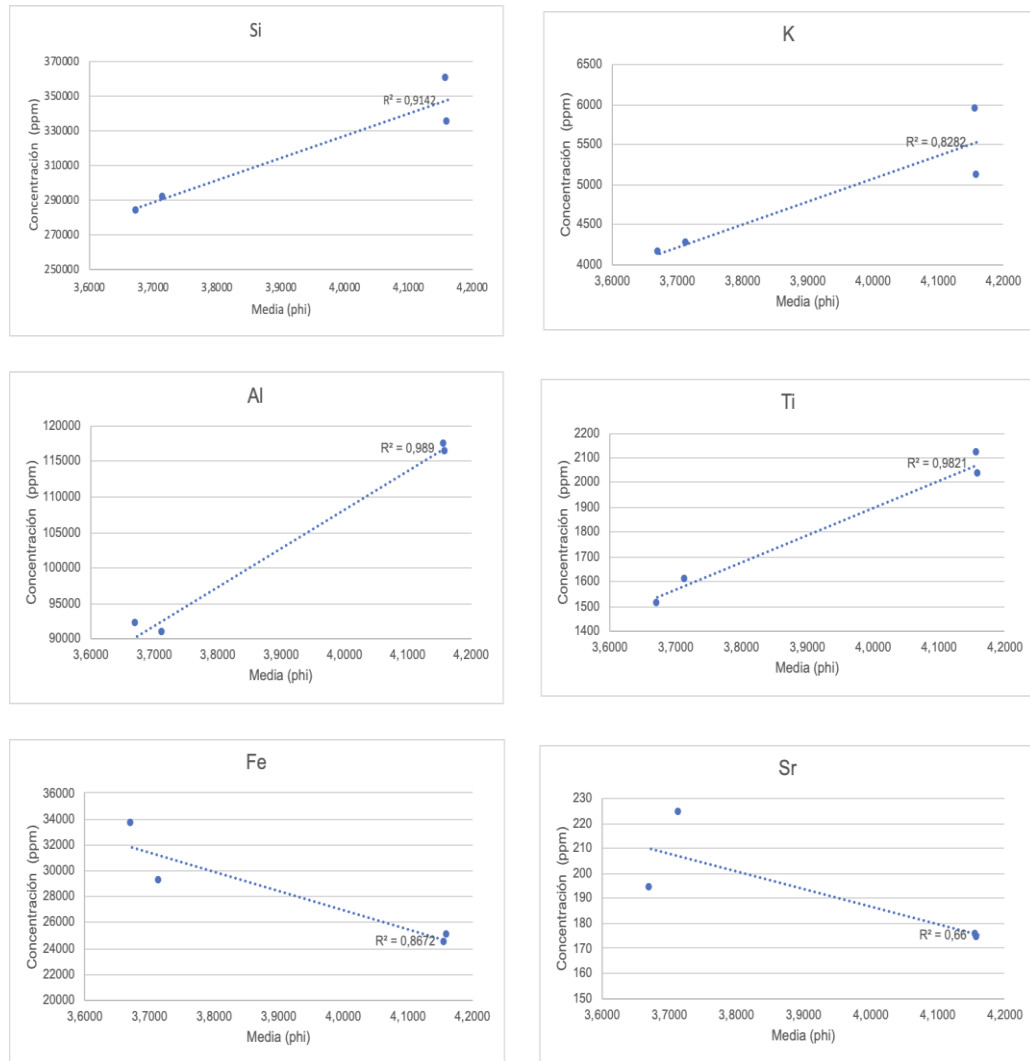
- Ahmad, F. *et al.* (2017) 'Depositional environment of the fort member of the jurassic jaisalmer formation (Western Rajasthan, India), as revealed from lithofacies and grain-size analysis', *Geologica Acta*, 15(3). Available at: <https://doi.org/10.1344/GeologicaActa2017.15.3.1>.
- Allen, J.R.L. (1979) 'Principles of sedimentology, G. M. Friedman and F. E. Sanders, Wiley, New York, 1978. No. of pages: 792. Price: £15.75', *Earth Surface Processes*, 4(3). Available at: <https://doi.org/10.1002/esp.3290040317>.
- Alsharhan, A.S. and El-Sammak, A.A. (2004) 'Grain-size analysis and characterization of sedimentary environments of the United Arab Emirates coastal area', *Journal of Coastal Research*, 20(2). Available at: [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)020 \[0464:GAACOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)020 [0464:GAACOS]2.0.CO;2).
- Alvarado. A. *et al.* (2023) 'Análisis sedimentológico y estratigráfico del estuario del río Bunche, provincia de Esmeraldas-Ecuador', *Revista Científica GeoLatitud*, 6(2), pp. 18–29.
- Arias-Madrid, D., López-Paz, O.A. and Jiménez-Builes, J.A. (2012) 'Análisis de Sedimentos Utilizando un Enfoque de la Programación Estructurada', *Revista Tecno Lógicas*, (29), pp. 49–67.
- Bialik, O.M., Jarochovska, E. and Grossowicz, M. (2021) 'Ordination analysis in sedimentology, geochemistry and palaeoenvironment—Background, current trends and recommendations', *Depositional Record*, 7(3), pp. 541–563. Available at: <https://doi.org/10.1002/dep2.161>.
- Boggs, S. (2006) 'Principles of stratigraphy and sedimentology', *Principles of stratigraphy and sedimentology*
- Chaudhuri, P., Chaudhuri, S. and Ghosh, R. (2019) 'The Role of Mangroves in Coastal and Estuarine Sedimentary Accretion in Southeast Asia', in *Sedimentation Engineering [Working Title]*. Available at: <https://doi.org/10.5772/intechopen.85591>.
- Cheshire, H., Thurow, J. and Nederbragt, A.J. (2005) 'Late Quaternary climate change record from two long sediment cores from Guaymas Basin, Gulf of California', *Journal of Quaternary Science*, 20(5), pp. 457–469. Available at: <https://doi.org/10.1002/jqs.944>.

- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. and Boyd, R. (1992) 'Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications', *Journal of Sedimentary Petrology*, 62(6). Available at: <https://doi.org/10.1306/D4267A69-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Delgado Romero, P.A. (2024) *Diseño de Guía Metodológica para la definición de celdas sedimentarias en el litoral ecuatoriano INGE-2238*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- D7928 – 17 (2018) Standard Test Method for Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis. Available at: <https://doi.org/10.1520/D7928-17>.
- Elsherif, E.A., Badawi, A. and Abdelkader, T. (2020) 'Grain size distribution and environmental implications of rosetta beach, mediterranean sea coast, Egypt', *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(1). Available at: <https://doi.org/10.21608/EJABF.2020.70860>.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) 'Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters', *Journal of Sedimentary Research*, 27(1). Available at: <https://doi.org/10.1306/74d70646-2b21-11d7-8648000102c1865d>.
- Friedman, G.M. (1961) 'Distinction Between Dune, Beach, and River Sands from their Textural Characteristics', *SEPM Journal of Sedimentary Research*, Vol. 31. Available at: <https://doi.org/10.1306/74d70bcd-2b21-11d7-8648000102c1865d>.
- Garrido Cuero, M.F. (2022) *ESTRATIGRAFÍA, SEDIMENTOLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LAS FORMACIONES CHAPIZA Y HOLLÍN EN LA ZONA SUBANDINA*. Escuela Politécnica Nacional.
- González, O. and Millán, Z. (2016) 'Granulometría de los sedimentos fluviales del canal principal y llanura aluvial del río Portuguesa, Venezuela', *Revista de Investigación*, 40(87), pp. 129–154.
- Hossain, S. et al. (2023) Análisis Hidrómetro-Propiedades y Comportamiento del Suelo-Manual de Laboratorio en Línea. Available at: <https://uta.pressbooks.pub/soilmechanics/chapter/hydrometer-analysis/>.
- Horowitz, A. J., & Elrick, K. A. (1987). The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2(4), 437-451. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(87\)90027-8](https://doi.org/10.1016/0883-2927(87)90027-8)

- Leoni, L. *et al.* (1991) 'Mineralogy, chemistry, and grain size composition of recent sediments in the northern Tyrrhenian Sea: Contribution to the study of sediment transport and distribution', *Environmental Geology and Water Sciences*, 17(1). Available at: <https://doi.org/10.1007/BF01716072>
- Nichols, G. (2009) 'Processes of transport and sedimentary structure', in *Sedimentology and Stratigraphy*. Nugroho, S.H. *et al.* (2018) 'Multivariate statistical analysis for characterization of sedimentary facies of Tarakan sub-basin, North Kalimantan', *Marine Georesources and Geotechnology*, 36(8). Available at: <https://doi.org/10.1080/1064119X.2017.1399178>.
- Nugroho, S.H. and Putra, P.S. (2019) 'Characteristics of Grain Size Distribution on Beaches Sediment of Sumba Island, Nusa Tenggara Timur Based on Grainsize and Geochemical Data', *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(3). Available at: <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v20i3.414>.
- Nugroho, S.H. and Putra, P.S. (2020) 'Determining textural and geochemical element characteristics of seafloor sediment using multivariate analysis along the Simeulue sub-basin, Indonesia', *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 35(4). Available at: <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.4.7>.
- Passega, R. (1964) 'Grain size representation by CM patterns as a geologic tool', *Journal of Sedimentary Research*, 34(4). Available at: <https://doi.org/10.1306/74d711a4-2b21-11d7-8648000102c1865d>.
- Passega, R. (1977) 'Significance of CM diagrams of sediments deposited by suspensions', *Sedimentology*, 24(5). Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1977.tb00267.x>.
- Passega, R. and Oklahoma, B. (1957) *TEXTURE AS CHARACTERISTIC OF CLASTIC DEPOSITION*.
- Polvillo Polo, O. (2003) *Análisis geoquímico-orgánico de sedimentos del estuario del río Guadina y su relación con la detección de cambio ambientales en el Holoceno*. Universidad de Sevilla Facultad de Ciencias Químicas.
- Powers, M.C. (1953) 'A NEW ROUNDNESS SCALE FOR SEDIMENTARY PARTICLES', *Journal of Sedimentary Petrology*, 23(2), pp. 117–119.
- Rddeck, H.E. and Singh, I.B. (1972) 'Genesis of Laminated Sand and Graded Rhythmites in Storm-sand Layers of Shelf mud', *Sedimentology*, 18 (1–2). Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1972.tb00007.x>.
- Richter, T.O. *et al.* (2006) 'The Avaatech XRF Core Scanner: Technical description and applications to NE Atlantic sediments', *Geological Society Special Publication*, 267. Available at: <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.267.01.03>.

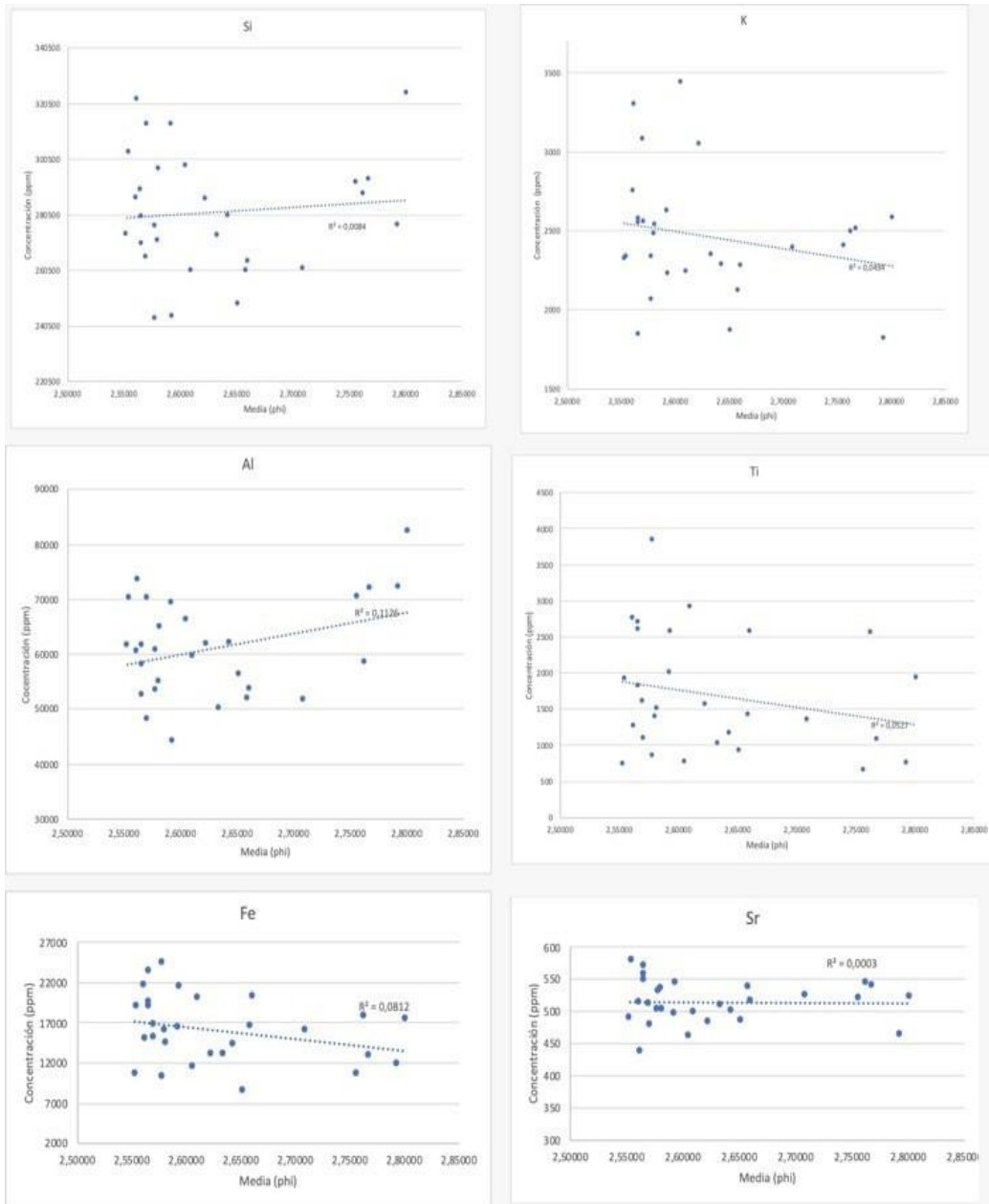
- Rothwell, R.G. and Croudace, I. w. (2015a) 'Micro-XRF Studies of Sediment Cores: A Perspective on Capability and Application in the Environmental Sciences', in, pp. 1–21. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5_1).
- Rothwell, R.G. and Croudace, I. w. (2015b) 'Twenty Years of XRF Core Scanning Marine Sediments: What Do Geochemical Proxies Tell Us?', in. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5_2).
- Rühlemann, C. *et al.* (1999) 'Warming of the tropical Atlantic Ocean and slowdown of thermohaline circulation during the last deglaciation', *Nature*, 402(6761). Available at: <https://doi.org/10.1038/990069>.
- Sahu, B.K. (1964) 'Depositional Mechanisms from the Size Analysis of Clastic Sediments', *SEPM Journal of Sedimentary Research*, Vol. 34. Available at: <https://doi.org/10.1306/74d70fce-2b21-11d7-8648000102c1865d>.
- Silva, R., Villanueva, M. and Villalba, A. (1996) 'Estudio sedimentológico de la laguna costera El Soldado, Sonora, México', *Acta Oceanográfica*, 8(1), pp. 96–108.
- Singh, M., Singh, I.B. and Müller, G. (2007) 'Sediment characteristics and transportation dynamics of the Ganga River', *Geomorphology*, 86(1–2), pp. 144–175. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.08.011>.
- Sutherland, R.A. and Lee, C. -T (1994) 'Discrimination between coastal subenvironments using textural characteristics', *Sedimentology*, 41(6). Available at: <https://doi.org/10.1111/j.13653091.1994.tb01445.x>.
- Thomson, J., Croudace, I.W. and Rothwell, R.G. (2015) 'A geochemical application of the ITRAX scanner to a sediment core containing eastern Mediterranean sapropel units', in *New Techniques in Sediment Core Analysis*, pp. 65–77. Available at: <http://sp.lyellcollection.org/>.
- Weindorf, D.C., Bakr, N. and Zhu, Y. (2014) 'Advances in portable X-ray fluorescence (PXRF) for environmental, pedological, and agronomic applications', in *Advances in Agronomy*. Academic Press Inc., pp. 1–45. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00001-9>.
- Wentworth, C.K. (1922) *A SCALE OF GRADE AND CLASS TERMS FOR CLASTIC SEDIMENTS*'.

## ANEXOS



**Figura 1.** Análisis de correlación de Pearson entre la granulometría de los sedimentos finos y la concentración geoquímica de Si, K, Al, Ti y Fe, mostrando la relación fuerte entre el tamaño de los granos y las concentraciones de estos elementos, así como una relación débil para el Sr en el núcleo N° 1.

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)



**Figura 2.** Análisis de correlación de Pearson entre la granulometría de arenas finas y la concentración de los elementos geoquímica Si, K, Al, Ti y Fe, mostrando una relación débil entre el tamaño de los granos y las concentraciones de estos elementos en el núcleo N° 2

**Elaborado por:** Alison Haro (2024)