UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA ENSENADA DE CARENERO, VENEZUELA

GEOCHEMISTRY OF SURFACE SEDIMENTS FROM CARENERO BAY, VENEZUELA

GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA BAÍA DE CARENERO, VENEZUELA

Ciencias Químicas

Autores:

Vanessa Acosta de Matheus[1,2,*]
vacosta@lincoln-marti.com

Patricia Romero-Ferreira[3,4]
promero@udo.edu.ve

[1]Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Cumaná, Sucre, Venezuela.

[2]Lincoln-Marti Charter Schools International Campus. Florida City. Estados Unidos.

[3]Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Postgrado en Ciencias Marinas. Cumaná, Venezuela.

[4]Universidad Politécnica Territorial del Oeste. Cumaná, Venezuela.

* Autor para correspondencia.

Editor Académico
Jean Carlos Pérez

Citación sugerida: Acosta de Matheus, V., Romero-Ferreira, P. (2026). Geoquímica de los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, Venezuela. *Revista Bases de la Ciencia, 11(1)*, 32-48. DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

Recibido: 09/01/2026
Aceptado: 02/04/2026
Publicado: 15/04/2026

Resumen

Se evalúo las variaciones espacio temporales de los parámetros geoquímicos en sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, Venezuela. En 2018, durante los períodos de sequía y lluvia, se muestrearon 13 estaciones (10 internas y 3 de referencia externa). Se determinó granulometría, carbono orgánico total (COT), materia orgánica total (MOT), carbonatos ($CaCO_3$), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y metales pesados (Fe, Zn, Pb, Cd, Co, Cu y Mn). Los resultados mostraron un predominio de la fracción arenosa (90,84 % – 99,78 %). Espacialmente, las mayores concentraciones de COT, MOT y NT se registraron en la zona Este durante sequía, mientras que en lluvia predominaron en el sector Oeste. El gradiente de concentración de metales, tanto totales como biodisponibles, se obtuvo en el siguiente orden: Fe > Zn > Mn > Co > Pb > Cd > Cu, con valores máximos en las estaciones externas (referencia) y en la zona Este de la ensenada. Se identificaron correlaciones positivas significativas entre Fe, Zn y Pb con la MOT, COT, NT y PT. Aunque la hidrodinámica local favorece el lavado constante de sedimentos, reduciendo el impacto antropogénico en las zonas centro y Sur, los niveles de Pb y Cd indican un riesgo latente de contaminación. Se concluye que la composición geoquímica del sedimento, presenta una marcada variabilidad espacio temporal, aportando información base fundamental para el monitoreo y gestión ambiental de este ecosistema litoral.

Palabras clave: Sedimentos marinos, metales pesados, riesgo ambiental.

Abstract

Spatio-temporal variations of geochemical parameters in Surface sediments of the Carenero inlet, Venezuela, were evaluated. During the 2018 dry and rainy seasons, 13 stations (10 internal and 3 external reference sites) were sampled. Grain size, total organic carbon (TOC), total organic matter (TOM), carbonates ($CaCO_3$), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and heavy metals (Fe, Zn, Pb, Cd, Co, Cu, and Mn) were determined. Results showed a predominance of the sandy fraction (90.84 % – 99.78 %). Spatially, the highest concentrations of TOC, TOM, and TN were recorded in the Eastern zone during the dry season, whereas they predominated in the WEstern sector during the rainy season. The concentration gradient for both total and bioavailable metals followed the order: Fe > Zn > Mn > Co > Pb > Cd > Cu, with maximum values found at external reference stations and in the Eastern zone of the inlet. Significant positive correlations were identified between Fe, Zn, and Pb with TOM, TOC, TN, and TP. Although local hydrodynamics favor the constant washing away of sediments, reducing the anthropogenic impact in the central and southern zones, the levels of lead (Pb) and cadmium (Cd) indicate a latent risk of contamination. It is concluded that the geochemical composition of the sediment exhibits marked spatiotemporal variability, providing fundamental baseline information for the monitoring and environmental management of this coastal ecosystem.

Keywords: Marine sediments, heavy metals, geochemistry, environmental risk.

Resumo

Avaliaram-se as variações espaço-temporais dos parâmetros geoquímicos em sedimentos superficiais da enseada de Carenero, Venezuela. Em 2018, durante os períodos de seca e chuva, foram amostradas 13 estações (10 internas e 3 de referência externa). Determinaram-se a granulometria, carbono orgânico total (COT), matéria orgânica total (MOT), carbonatos ($CaCO_3$), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e metais pesados (Fe, Zn, Pb, Cd, Co, Cu e Mn). Os resultados mostraram um predomínio da fração arenosa (90,84 % – 99,78 %). Espacialmente, as maiores concentrações de COT, MOT e NT foram registradas na zona Leste durante a seca, enquanto na chuva predominaram no setor Oeste. O gradiente de concentração de metais, tanto totais quanto biodisponíveis, obteve-se na seguinte ordem: Fe > Zn > Mn > Co > Pb > Cd > Cu, com valores máximos nas estações externas (referência) e na zona Leste da enseada. Identificaram-se correlações positivas significativas entre Fe, Zn e Pb com a MOT, COT, NT e PT. Embora a hidrodinâmica local favoreça a lavagem constante dos sedimentos, reduzindo o impacto antropogênico nas zonas centro e Sul, os níveis de Pb e Cd indicam um risco latente de contaminação. Conclui-se que a composição geoquímica do sedimento apresenta uma marcada variabilidade espaço-temporal, fornecendo informações de base fundamentais para o monitoramento e gestão ambiental deste ecossistema litorâneo.

Palavras chave: Sedimentos marinhos, metais pesados, risco ambiental.

CC BY NC ND

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

1. Introducción

La presencia de metales pesados en ambientes marinos, constituye una de las principales amenazas para la integridad ecológica de los ecosistemas costeros. Debido a su persistencia, toxicidad, capacidad de bioacumulación y potencial biomagnificación, los metales pesados, pueden afectar la estructura y funcionalidad de las comunidades bentónicas, alterar procesos biogeoquímicos y comprometer la salud humana a través de la cadena alimentaria. En zonas litorales, el sedimento marino opera como un sumidero de metales, en el cual las concentraciones suelen ser significativamente superiores a las de la columna de agua, lo que convierte a este compartimento en un indicador robusto del estado ambiental y de los efectos de actividades antropogénicas (Acosta & Lodeiros, 2004; Robledo Ardila et al., 2023).

En Venezuela, múltiples estudios han demostrado que la acumulación de metales pesados en sedimentos marinos está asociada a descargas domésticas, urbanas y portuarias, así como por actividades pesqueras y procesos naturales que influyen en la deposición y remoción de partículas (Ramos et al., 2021). En particular el golfo de Cariaco, se destaca por su relevancia biológica y productiva, por lo cual es considerado uno de los sistemas más dinámicos del mar Caribe, influenciado por una marcada variabilidad ambiental estacional: un período de surgencia costera, caracterizada por el afloramiento de aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes durante la estación seca; y un período de estratificación, predominante en la época de lluvias, cuando se reduce la mezcla vertical de la columna de agua (Márquez et al., 2012; Romero-Fereira et al., 2022). Este patrón oceanográfico controla la disponibilidad de nutrientes, la productividad primaria y las condiciones redox del fondo marino, factores que a su vez modulan el transporte, retención, movilidad y redistribución de metales pesados en los sedimentos (Fuentes-Hernández, 2021). Investigaciones realizadas en diferentes zonas del golfo de Cariaco han demostrado que las fracciones geoquímicas de Cd, Pb y Ni pueden presentarse en formas altamente móviles, lo que incrementa su potencial biodisponibilidad, especialmente bajo condiciones de oxigenación variable inducidas por la alternancia entre Surgencia y estratificación (Acosta & Lodeiros, 2004; Acosta et al., 2002).

La Ensenada de Carenero, ubicada en la costa Sur del golfo de Cariaco, representa un área ecotonal de alta sensibilidad ecológica. Allí convergen praderas de *Thalassia testudinum*, manglares dominados por *Rhizophora mangle* y parches coralinos, lo que sustenta una elevada diversidad biológica, particularmente en organismos asociados a raíces de *R. mangle* (Acosta-Balbás et al., 2023). A pesar de la relevancia ecológica y productiva de la Ensenada de Carenero, así como de la evidencia que indica la presencia de metales pesados en organismos bentónicos (Romero-Fereira et al., 2022), no existen estudios detallados que evalúen la composición geoquímica y la distribución de metales pesados en sus sedimentos superficiales. Estas evidencias sugieren que la dinámica físico-química del golfo puede influir significativamente en la estructura geoquímica de los sedimentos de Carenero, potenciando la necesidad de estudios de alta resolución espacial y temporal que permitan comprender su comportamiento ambiental.

En el presente estudio se evalúo la variabilidad espacial y temporal de las características geoquímicas y la concentración de metales pesados en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, considerando las condiciones ambientales asociadas a los períodos de surgencia y estratificación del golfo de Cariaco. Este trabajo constituye el primer esfuerzo integral y sistemático orientado a caracterizar la geoquímica del sedimento en esta zona, aportando una línea base indispensable para comprender su dinámica ambiental.

2. Materiales y métodos

Área de estudio

La ensenada de Carenero se ubica en la costa oriental del Caribe venezolano, en el sector Sur del golfo de Cariaco, entre las coordenadas 10° 26′ 34″ N y 64° 02′ 26″ O (Figura 1). Es un sistema semicerrado con patrones hidrodinámicos particulares, con una circulación interna limitada y tiempos de residencia de agua relativamente prolongados. Estas condiciones favorecen la deposición de partículas finas y la acumulación de materia orgánica y contaminantes asociados al sedimento. La ensenada recibe además aportes de actividades humanas cercanas, principalmente asentamientos y pesca artesanal, que generan descargas de aguas residuales, residuos sólidos y material orgánico. La baja circulación facilita la acumulación de estos aportes en el sedimento superficial. Estas características geomorfológicas, hidrodinámicas y antrópicas hacen de la ensenada de Carenero un ambiente propenso a la retención y redistribución de metales pesados (Romero-Fereira et al., 2022).

CC BY NC ND

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

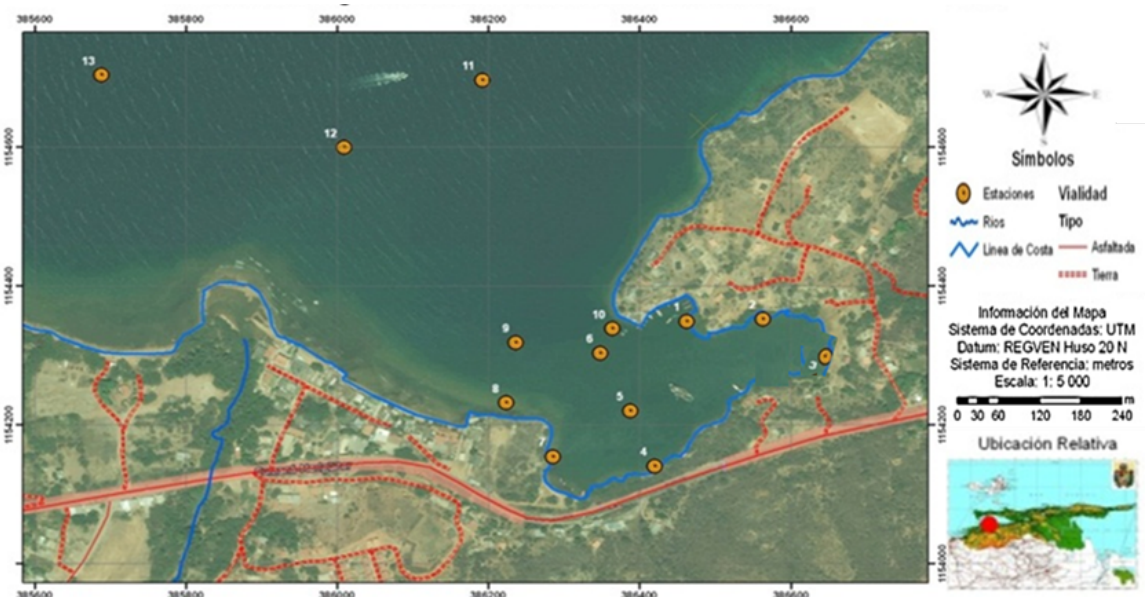


Figura 1. Ensenada de Carenero, Nororiente de Venezuela. Los puntos indican las estaciones de muestreo.

El entorno litoral de la Ensenada, presenta una heterogeneidad estructural notable. El borde costero está ocupado de manera discontinua por manglares dominados por *Rhizophora mangle*, los cuales se intercalan con praderas de fanerógamas marinas, principalmente *Thalassia testudinum*, y con parches coralinos que se concentran en la zona externa cercana a la boca de la ensenada. Adicionalmente, se observan sectores con playas desprovistas de vegetación, áreas arenosas de baja energía y zonas rocosas que conforman la morfología de la entrada del sistema. Esta diversidad de hábitats genera variaciones locales en la dinámica sedimentaria y en la retención de material particulado (Acosta-Balbás et al., 2023). Para este estudio, se establecieron 13 estaciones, distribuidas de la siguiente manera: diez estaciones ubicadas dentro de la ensenada (estaciones 1-10) y tres exteriores (estaciones 11-13) que fueron establecidos como estaciones de referencia, como un criterio de comparación con áreas alejadas de la zona de muestreo. Se utilizó un Garmin GPSMAP 65 Handheld, para establecer los puntos de referencia (Tabla 1). El estudio de granulometría fue realizado de acuerdo a la metodología reportada por Romero et al. (2016).

Carbono Orgánico y Materia Orgánica Total (COT y MOT)

El carbono orgánico total se determinó mediante el método de combustión húmeda y se pesó aproximadamente 0.01g de sedimento seco, al cual se le adicionó 5 ml de reactivo oxidante (ácido sulfocrómico 0,50 mol L^{-1}) calentado hasta ebullición (Izquierdo Bautista & Arévalo Hernández, 2021). Se centrifugaron las soluciones a 5000 RPM por 5 minutos y el extracto obtenido fue diluido hasta 25 ml con agua desionizada. La absorbancia se analizó en un espectrofotómetro GENESYS 8, a 590 nm. La curva de calibración se preparó a partir de una solución de biftalato de potasio ($KHC_8H_4O_4$). El contenido de materia orgánica fue determinada mediante la multiplicación del porcentaje de carbono orgánico obtenido por el factor convencional de Van Bemmelen: 1.724 (Izquierdo Bautista & Arévalo Hernández, 2021).

Nitrógeno (NT) y Fósforo total (PT)

El Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT), se cuantificaron mediante digestión oxidativa seguida de análisis colorimétrico (Worsfold et al., 2020). Esta metodología permite determinar los nutrientes totales presentes en el sedimento.

ISNN 2588-0764 | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

Tabla 1. Ubicación relativa (UTM) y características de las estaciones de muestreo en la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

Estaciones	Este (UTM)	Norte (UTM)	Ubicación relativa	Prof. (m)	Ecosistemas colindantes
1	386463,69	1154348,72	Este	2	Manglar, coral
2	386564,05	1154352,07	Este	2	Thalassia
3	386578,38	1154272,77	Sur	0	Ninguno
4	386421,05	1154140,59	Central	0	Mangle, Thalassia, coral
5	386388,476	1154219,95	Boca	2	Ninguno
6	386348,613	1154303,02	Oeste	3	Ninguno
7	386286,094	1154153,93	—	0	Ninguno
8	386224,32	1154231,54	Oeste	0	Rocosa
9	386237,37	1154318,13	Boca	5	—
10	386365,14	1154337,98	Boca	5	—
11	386193,01	1154696,10	Golfo	15-20	Ninguno
12	386010,25	1154599,02	Golfo	15-20	—
13	385689,50	1154703,29	Golfo	15-20	—

Metales pesados

La determinación de metales pesados (Fe, Zn, Pb, Cd, Cu, Co y Mn) en el sedimento se realizó por extracción en dos pasos para obtener tres fracciones, F1, F2 y F3. En el primer paso, se extrajo la fracción F1, metales biodisponibles. Para ello, se agregaron 10 ml de una solución de ácido acético al 25 % a aproximadamente 1.50 g de sedimento seco, agitándose la mezcla a temperatura ambiente durante 6 h en un agitador mecánico. Luego, se dejó en reposo y se separó el líquido sobrenadante enrasándose en balones aforados hasta 25 ml con agua desionizada (Cabrera et al., 2020). Para extraer el contenido de metales totales (fracción F3), la muestra fue pre digerida en 10 ml de HNO_3 concentrado, durante la noche, a temperatura ambiente, en un Erlemeyer (Rojas de Astudillo et al., 2005). La muestra fue calentada a 60 °C y luego a 100 °C. Posteriormente la muestra fue filtrada (papel de filtro Whatman tipo 42) y aforada en un matraz volumétrico de 25 ml. La fracción F2, se obtuvo de manera indirecta, por diferencia entre el contenido total (F3) y la F1. La fracción F2 contiene los oxihidróxidos de hierro y manganeso más resistentes y sulfuros metálicos, al igual que los metales asociados a los minerales residuales refractarios y a la materia orgánica (Márquez et al., 2012). La cuantificación de las concentraciones totales de metales se realizó mediante un espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICPOES, Perkin Elmer, modelo 5300 DV), el cual se calibró con las siguientes condiciones: flujo de argón al plasma, 15 L/min; flujo auxiliar de argón, 0.2 L/min; flujo del nebulizador, 0.8 L/min; generación de frecuencia, 1300 W; caudal del flujo a la bomba peristáltica, 1.5 mL/min, y temperatura, 30 °C.

Las cuantificaciones de los metales se realizaron por la técnica de espectroscopia de emisión por plasma, utilizando un equipo, ICP-AES, Optima 5300 DV Perkin Elmer Precisely. La precisión del método de análisis para el sedimento fue verificada mediante estándares de referencia certificados HISS-1 y MESS-3, de la National Research Council, Canadá. Los valores de la desviación estándar y los coeficientes de variación fueron representativos, tal como lo demuestran desviaciones estándar para las réplicas analizadas comparables entre las diferentes determinaciones (Tabla 2).

CC BY NC ND

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

Tabla 2. Precisión y exactitud en la extracción de metales totales por medio del análisis de dos patrones de sedimento certificados.

Metal	Presente estudio (HISS-1)	Patrón HISS-1	Presente estudio (MESS-3)	Patrón MESS-3
Fe	303,71 ± 0,20	—	13598,46 ± 0,43	—
Zn	7,28 ± 0,130	4,90 ± 0,640	238,40 ± 3,00	243 ± 10
Pb	3,70 ± 0,150	3,13 ± 0,400	19,48 ± 0,8	21,1 ± 0,7
Cd	0,036 ± 0,002	0,024 ± 0,001	0,27 ± 0,001	0,24 ± 0,01
Co	0,40 ± 0,030	0,65 ± 0,100	13,54 ± 0,40	14,4 ± 2,0
Mn	66,65 ± 0,60	66,1 ± 4,200	358,08 ± 5,00	324 ± 12

Calidad de análisis

Para demostrar la eficiencia y precisión de la técnica utilizada se calculó la desviación estándar experimental (Ds), para ello se realizaron pruebas con dos patrones de sedimento certificados y se compararon los resultados obtenidos con los señalados por la casa fabricante (Tabla 2).

Análisis de datos

Las representaciones de las distribuciones espaciales de los parámetros geoquímicos de los sedimentos superficiales se realizaron con el programa Golden Surfer 12.5, Inc. Se utilizó el paquete Tridraw 4.5, Inc. para el cálculo de la granulometría de los sedimentos mediante el triángulo de Sheppard. Para cada variable se realizó la prueba de análisis de variancia en cada estación y en cada período de estudio. En el análisis de los sedimentos, para evaluar el grado de contaminación, se estimó el índice potencial de contaminación (C_p), el cual fue obtenido siguiendo las sugerencias de Davaulter & Rognerud (Davaulter & Rognerud, 2001). Donde, B_n es el valor de fondo del metal en el sedimento para el golfo de Cariaco; $Máx$, representa la concentración máxima del metal determinado (no contiene la concentración del metal presente, es decir no extraido con HF). Se determinó, además, el ICC, el cual fue expresado como $Icc == (Cp1 \times Cp2 \times Cp3 \ldots CFn)1/N$; donde $Cp = [metal]/Bn$; donde [metal] = concentración del metal en el sedimento (sin extracción con HF) y N = número de metales evaluados. Para establecer si los valores del presente estudio se encontraban dentro de los rangos permitidos se comparó con los valores reportados por parámetros internacionales SQuiRTs de la NOAA (Arcega-Cabrera et al., 2015). La digestión de las muestras siguió el método EPA 3052 (U.S. Environmental Protection Agency, 1996).

Se aplicó un análisis multivariado para integrar las variables en ambas épocas de muestreo para lo cual se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el paquete *Statgraphic Plus 5.1* para comparar los parámetros geoquímicos en la época de sequía y lluvia.

3. Resultados

Granulometría y textura de los sedimentos

La granulometría que predominó tanto en época de sequía como en época de lluvia fue de tipo arenosa, los otros tipos texturales como limos (en sequía 0,06 % – 6,81 %, en lluvia 0,12 % – 9,06 %) y arcillas se observaron en muy bajos porcentajes (en sequía 0,01 % y 0,71 % y en lluvia 0,03 % – 0,69 %). Los valores máximos de limos se registraron en las estaciones 1, 2 y 3. El porcentaje de arena fluctuó entre 93,06 % – 99,92 %, en época de sequía y de 90,84 % – 99,78 %, en época de lluvia. Las arenas se caracterizaron por ser de naturaleza granulométrica media y fina. En la época de sequía predominaron las arenas medias y finas (Tabla 3) y en lluvia, predominaron las fracciones de arenas finas y muy finas (Tabla 4).

ISNN 2588-0764 | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

Tabla 3. Clasificación (%) de las arenas durante el período de sequía en la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

Fracción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gravas	0	9	1	10	3	0	0	1	1	14	2	8	1
Muy Gruesas	12	10	10	18	9	10	4	4	8	13	8	13	4
Gruesas	14	11	18	17	22	24	0	2	16	11	8	10	8
Medias	16	17	29	25	32	33	2	4	28	17	12	11	38
Finas	17	30	28	20	26	25	29	62	33	28	23	19	36
Muy Finas	15	22	14	11	8	8	64	27	14	18	48	38	14

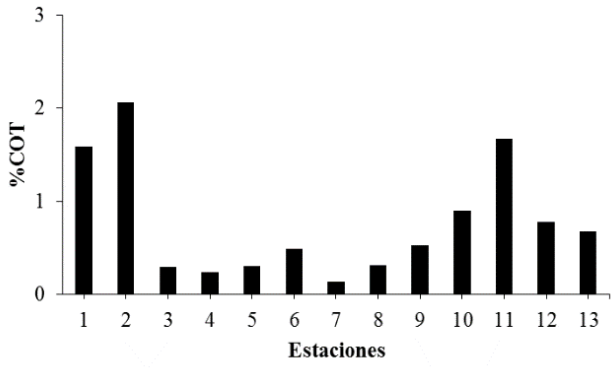
Tabla 4. Clasificación de las arenas (%) durante el período de lluvia en la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

Fracción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gravas	8	3	3	6	1	1	0	2	0	2	0	1	0
Muy Gruesas	10	7	10	12	7	3	4	5	4	15	4	7	4
Gruesas	9	7	10	6	14	26	2	3	4	25	4	7	5
Medias	14	13	14	12	17	35	5	11	13	29	16	11	69
Finas	25	30	20	34	37	28	27	36	39	24	39	24	15
Muy Finas	33	40	44	30	24	7	60	43	40	6	37	50	6

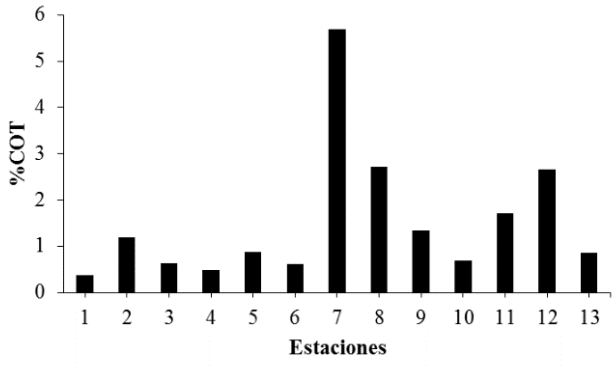
Carbono Orgánico Total (COT) y Materia Orgánica Total (MOT)

Los valores de COT y MOT obtenidos en época de sequía presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las estaciones y en ambas épocas ambientales. Los porcentajes de COT en sequía oscilaron entre 0,03 % – 2,32 % y los de MOT entre 0,05 % – 4,01 %, mientras que, en la época de lluvia, los porcentajes fluctuaron entre 0,36 % – 6,38 % para COT y desde 0,62 % – 11,01 % para MOT. La distribución espacial del COT, mostró mayores porcentajes en las estaciones 1, 2 y 11 durante la época de sequía y los menores porcentajes se observaron en las estaciones 7, 4 y 5. Por el contrario, en la época de lluvia, los mayores porcentajes del COT y MOT, se registraron en las estaciones 7, 8 y 12 mientras que, los porcentajes más bajos de estas dos variables se observaron en las estaciones 1, 4 y 6 (Figura 2a, 2b, 2c, 2d).

a)



b)



CC BY NC ND

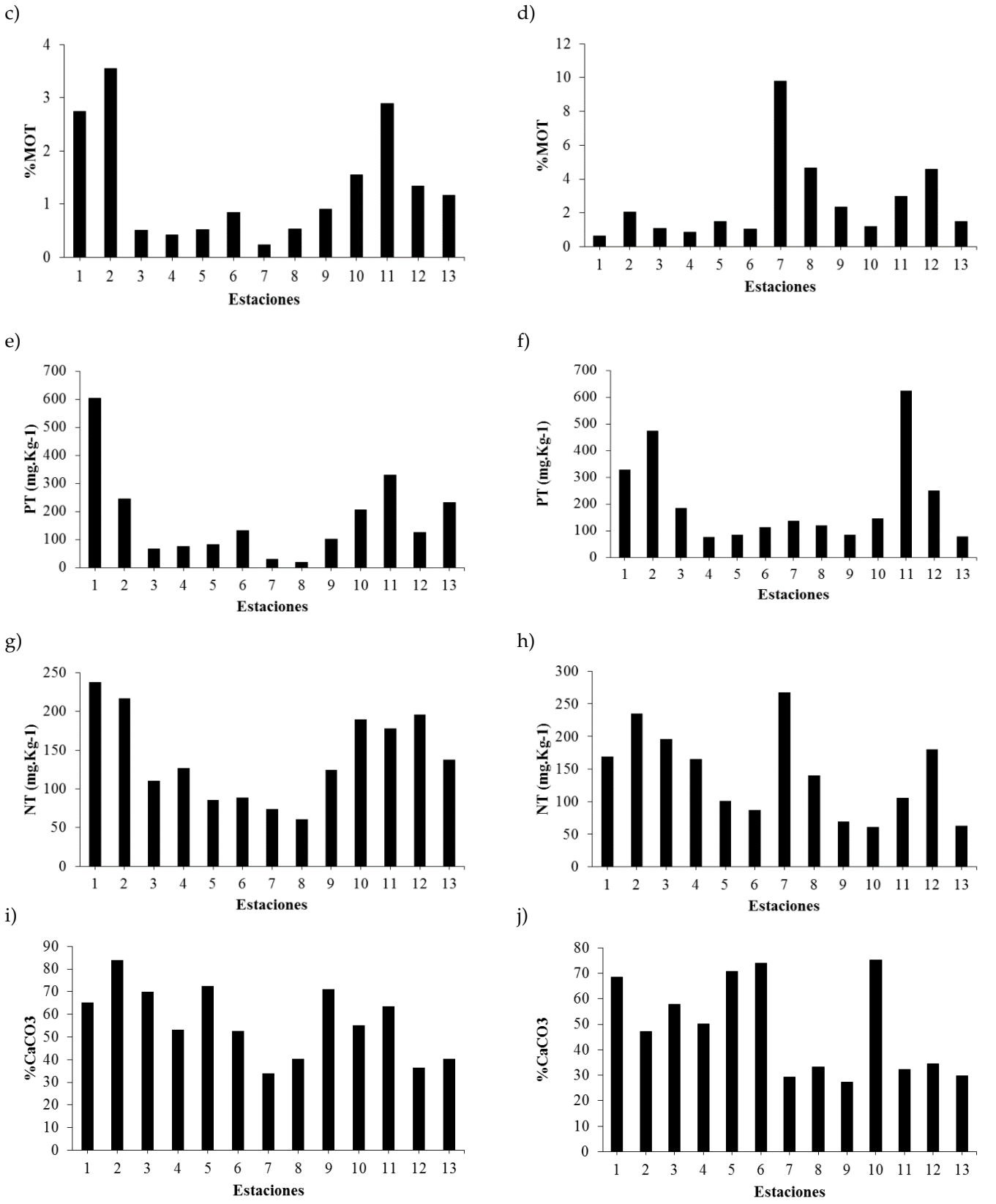


Figura 2. Carbono orgánico total en sequía (a) y lluvia (b), materia orgánica total en sequía (c) y lluvia (d), fósforo total en sequía (e) y lluvia (f), nitrógeno total en sequía (g) y lluvia (h), Carbonato de calcio en época de sequia (i) y lluvia (j), en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

CC BY NC ND

ISNN 2588-0764 | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

Fósforo Total (PT)

En sequía, los valores de fósforo total fluctuaron entre 20,30 mg kg^{-1} y 684,51 mg kg^{-1} (Figura 2e). La distribución de la concentración del PT arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) con los mayores valores en las estaciones 1 (603,17 mg kg^{-1}), 11 (330,45 mg kg^{-1}) y 2 (245,40 mg kg^{-1}). En lluvias los mayores valores se registraron en las estaciones 11 (623,50 mg kg^{-1}), 2 (474,49 mg kg^{-1}) y 1 (329,95 mg kg^{-1}), evidenciándose durante esta época diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las estaciones (Figura 2f).

Nitrógeno total (NT)

El rango de oscilación del nitrógeno total en sequía fue de 60,60 mg kg^{-1} − 270,44 mg kg^{-1}, mostrando diferencias significativas entre las épocas ambientales ($p < 0,05$). La distribución espacial durante esta época (Figura 2g) presento las mayores concentraciones en las estaciones 1 (237,43 mg kg^{-1}) y 2 (216,78 mg kg^{-1}) y en las estaciones, ubicadas fuera de la ensenada: estaciones 12 (196,08 mg kg^{-1}), 10 (189,46 mg kg^{-1}) y 11 (178,29 mg kg^{-1}) respectivamente. Los valores mínimos se obtuvieron en las estaciones 8 (60,60 mg kg^{-1}) y 7 (70,61 mg kg^{-1}). En la época de lluvia, el nitrógeno total presentó variaciones entre 56,70 mg kg^{-1} y 313,52 mg kg^{-1}, registrándose diferencias significativas ($p < 0,05$). Las mayores concentraciones se detectaron principalmente en la estación 7 (267,97 mg kg^{-1}), y en la estación 2 (234,64 mg kg^{-1}). Los valores mínimos se registraron en las estaciones 10 (56,70 mg kg^{-1}) y 13 (59,96 mg kg^{-1}) respectivamente (Figura 2h).

Carbonato de Calcio ($CaCO_3$)

Durante la época de sequía, los valores de carbonato de calcio oscilaron entre 28,12 % y 84,89 %, Las estaciones 2 a 5 reportaron una alta proporción de carbonato de calcio, mientras que los valores mínimos se registraron en las estaciones 7 y 12. En esta época ambiental no se registraron diferencias entre las estaciones. Para la época de lluvia hubo diferencias significativas entre estaciones ($p < 0,05$). Los mayores valores corresponden a las estaciones 10 (75,27 %), 6 (73,92 %) y 5 (70,71 %). Los valores mínimos se registraron en las estaciones 7 (29,36 %) y 9 (27,26 %), ubicados en la zona Oeste y Norte (estas zonas no se han definido a lo largo del texto) (Figura 2i y 2j).

Metales pesados en los sedimentos superficiales

Hierro (Fe)

La concentración de hierro total (F3) mostró diferencias significativas entre épocas de muestreo ($p < 0,05$) y entre estaciones ($p < 0,05$). En la época de sequía, las mayores concentraciones de hierro total, se registraron en las estaciones 11 (6 116,31 mg kg^{-1}) y 13 (5 064,44 mg kg^{-1}), mientras que durante la época de lluvias, los valores más altos se observaron en las estaciones 7 (5 628,41 mg kg^{-1}) y 2 (5 612,41 mg kg^{-1}) (Figura 3a y 3b).

El hierro biodisponible (F1), en la época de sequía, varió entre 315,14 mg kg^{-1} y 2 525,96 mg kg^{-1}. Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones 11 (2 525,96 mg kg^{-1}) y 2 (1 207,67 mg kg^{-1}), mientras que los valores más bajos se determinaron en las estaciones 8 (315,14 mg kg^{-1}) y 3 (32,25 mg kg^{-1}). En época de lluvias, las concentraciones más altas de hierro biodisponible se detectaron en las estaciones 7 (1 973,73 mg kg^{-1}) y 8 (806,31 mg kg^{-1}).

La fracción intermedia (F2) de hierro mostró diferencias. En sequía, las concentraciones máximas de F2 se hallaron en las estaciones 2 (3 660,59 mg kg^{-1}) y 13 (4 364,77 mg kg^{-1}). No obstante, durante el período de lluvias, las mayores concentraciones correspondieron a las estaciones 2 (4 980,14 mg kg^{-1}) y 3 (4 706,75 mg kg^{-1}). En conjunto, las concentraciones de hierro en F1, F2 y F3 presentaron variación estacional y espacial.

Zinc (Zn)

Las concentraciones totales de Zn (F3) variaron entre los periodos ambientales. En período seco, las fracciones F1 y F3 mostraron un comportamiento similar, con los mayores niveles en la estación 2 (77,10 mg kg^{-1} y 78,74 mg kg^{-1}, respectivamente) y los valores más bajos en la estación 8 (1,64 mg kg^{-1} y 3,16 mg kg^{-1}). En lluvias, los máximos valores de Zn total (F3) se observaron en las estaciones 2 (19,13 mg kg^{-1}) y 11 (15,98 mg kg^{-1}), mientras que las menores concentraciones se registraron en las estaciones 10 (2,16 mg kg^{-1}) y 6 (2,23 mg kg^{-1}).

CC BY NC ND

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

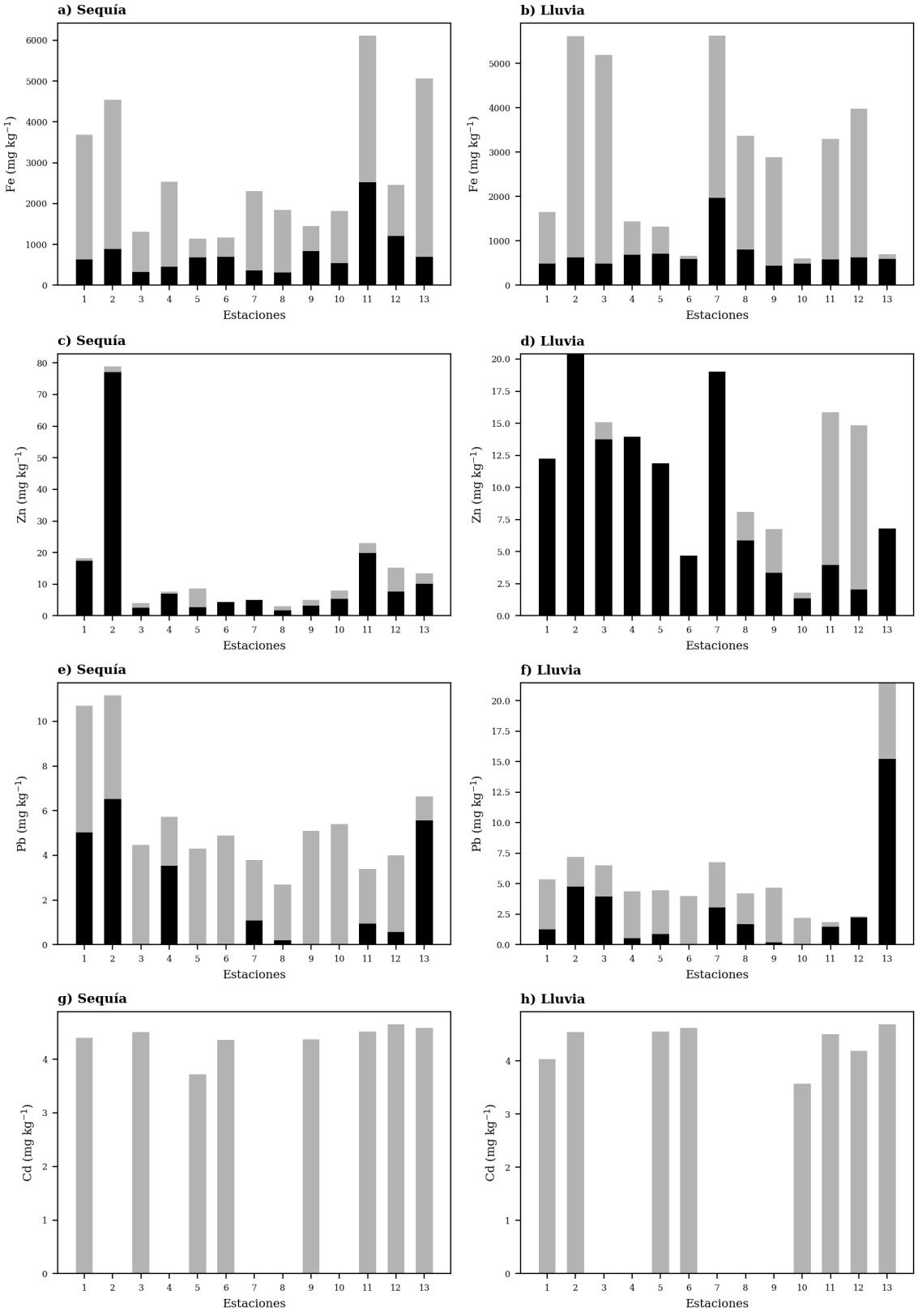


Figura 3. Distribución fraccional del Hierro-Fe en sequía (a), lluvia (b); Zinc-Zn en sequía (c), lluvia (d); Plomo-Pb en sequía (e), lluvia (f); Cadmio- Cd en sequía (g), lluvia (h); en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

ISNN 2588-0764 | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

Los mayores valores de la fracción biodisponible de zinc (F1) durante lluvias se localizaron en las estaciones 2 (20,11 mg kg^{-1}) y 7 (18,78 mg kg^{-1}), siendo el valor más bajo en la estación 10 (1,44 mg kg^{-1}). En sequía, la fracción intermedia (F2) oscilaron desde valores no detectados hasta 7,70 mg kg^{-1}, con sus máximos en las estaciones 12 (7,59 mg kg^{-1}) y 5 (6,06 mg kg^{-1}). Durante lluvias, la F2 presentó los mayores valores en las estaciones 12 (12,48 mg kg^{-1}) y 11 (12,26 mg kg^{-1}) (Figura 3c y 3d).

Plomo (Pb)

Durante las épocas de secas y lluvias (Figura 3e y 3f), las mayores concentraciones de plomo total (F3) se registraron en la estación 2, con valores de 11,17 mg kg^{-1} y 7,20 mg kg^{-1}, respectivamente. En período seco, la menor concentración de plomo total se observó en la estación 8 (2,69 mg kg^{-1}), mientras que en lluvias el valor mínimo correspondió a la estación 11 (1,03 mg kg^{-1}).

La fracción biodisponible de plomo (F1) en secas varió desde no detectada hasta 6,75 mg kg^{-1}, con los valores más altos en las estaciones 2 (6,53 mg kg^{-1}) y 13 (5,56 mg kg^{-1}). En lluvias, las concentraciones de F1 oscilaron entre no detectadas y 22,01 mg kg^{-1}, siendo la mayor concentración observada en la estación 13 (19,97 mg kg^{-1}). Se detectaron diferencias significativas entre épocas para esta fracción ($p < 0,05$).

La fracción intermedia de plomo (F2) presentó valores entre 0,22 mg kg^{-1} y 11,46 mg kg^{-1}. En secas, las concentraciones más altas de F2 se localizaron en la estación 3 (10,71 mg kg^{-1}), y la más baja en la estación 13 (0,22 mg kg^{-1}). Durante la época de lluvia, el mayor valor de F2 se registró en la estación 9, ubicada en la zona Norte de la ensenada (4,54 mg kg^{-1}), mientras que en las estaciones 11 y 13 las concentraciones de esta fracción fueron no detectables. Los valores de F2 en lluvias oscilaron desde no detectados hasta 5,47 mg kg^{-1}. Se observaron diferencias significativas entre estaciones para esta fracción ($p < 0,05$).

Cadmio (Cd)

La fracción biodisponible de cadmio (F1) no fue detectada en ninguno de los dos periodos de estudio. Las fracciones F2 y F3 presentaron rangos similares. En sequía, los valores oscilaron entre no detectados y 4,65 mg kg^{-1}, mientras que en lluvias variaron entre no detectados y 4,74 mg kg^{-1}, con diferencias significativas ($p < 0,05$). En época de lluvias, las mayores concentraciones de cadmio se localizaron en la estación 13 (4,71 mg kg^{-1}), mientras que en la estación 12 se registró el valor máximo en sequía (4,65 mg kg^{-1}) (Figura 3g y 3h).

Cobre (Cu)

Las concentraciones totales de cobre (F3) mostraron una notable variabilidad espacial. En época de sequía, los valores oscilaron entre 2,86 mg kg^{-1} (estación 5) y 255,33 mg kg^{-1} (estación 2), con esta última estación mostrando una concentración marcadamente superior al resto de la ensenada. El cobre biodisponible (F1) fue no detectado en la mayoría de las estaciones, exceptuando las estaciones 1 (2,47 mg kg^{-1}) y 2 (109,22 mg kg^{-1}). En época de lluvia, las concentraciones totales de Cu variaron entre 2,11 mg kg^{-1} (estación 10) y 21,35 mg kg^{-1} (estación 1), detectándose cobre biodisponible únicamente en la estación 1 (4,65 mg kg^{-1}). La fracción intermedia (F2) siguió un patrón similar al de la fracción total en ambas épocas, dado que el cobre biodisponible fue en su mayoría no detectable (Figuras 3i, 3j).

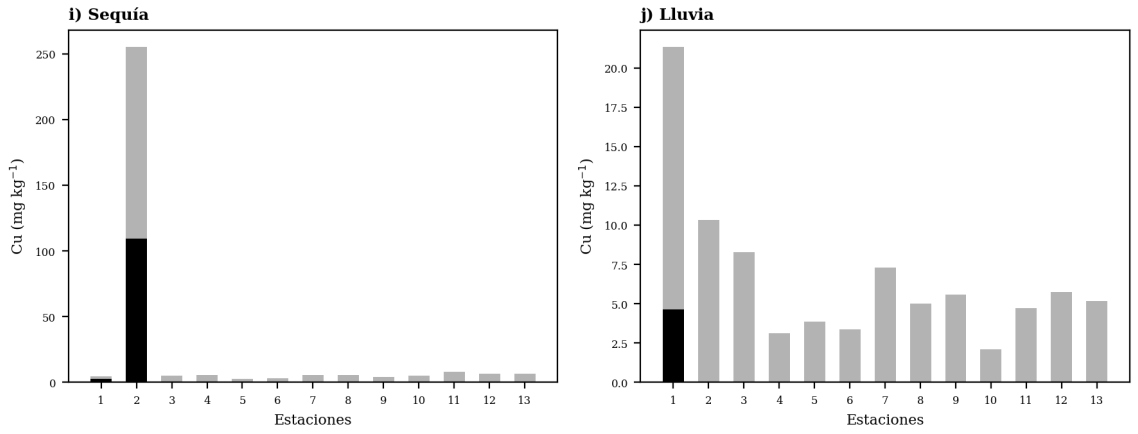


Figura 3. (cont) Distribución fraccional del Cobre-Cu en (i) sequía y lluvia (j); en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

CC BY NC ND

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

Cobalto (Co)

Las concentraciones totales de cobalto (F3) analizados en la época seca, oscilaron entre 4,82 mg kg^{-1} y 14,29 mg kg^{-1}, con los valores más altos observados en la estación 3. Durante la época de lluvias, los niveles de cobalto total variaron entre 8,97 mg kg^{-1} y 12,16 mg kg^{-1}, siendo la mayor concentración registrada en la estación 1 (12,16 mg kg^{-1}). Para este metal no se detectaron diferencias significativas entre estaciones ni entre las fracciones F2 y F3 entre las épocas de secas y lluvias ($p > 0{,}05$). Al igual que el cadmio, las concentraciones de cobalto en la fracción biodisponible (F1) fueron no detectables en ambos periodos de muestreo (Figuras 4c y 4d).

Manganeso (Mn)

Los valores de manganeso total (F3) en la época de sequía variaron entre 7,52 mg kg^{-1} y 18,84 mg kg^{-1}. Las concentraciones de la fracción biodisponible (F1) oscilaron entre 0,69 mg kg^{-1} y 11,46 mg kg^{-1}. Durante este período, ambas fracciones presentaron una distribución espacial similar, con las concentraciones más altas de F1 y F3 ubicadas en la estación 2, al Este de la ensenada (F1 = 11,46 mg kg^{-1} y F3 = 18,84 mg kg^{-1}). En época de lluvias, las concentraciones de manganeso total (F3) estuvieron entre 5,95 mg kg^{-1} y 18,18 mg kg^{-1}, observándose el mayor valor en la estación 3 (18,05 mg kg^{-1}) y el menor en la estación 10 (6,23 mg kg^{-1}). Las concentraciones de F1 bajo condiciones de lluvia oscilaron entre 2,73 mg kg^{-1} y 10,13 mg kg^{-1}, con máximos en la estación 8 (10,13 mg kg^{-1}) y valores mínimos en la estación 11 (2,73 mg kg^{-1}). Para la fracción intermedia (F2) en secas, las concentraciones variaron entre 1,15 mg kg^{-1} y 9,15 mg kg^{-1}, registrándose el valor más alto en la estación 9 (9,75 mg kg^{-1}). Se observaron diferencias significativas entre estaciones para las fracciones F1, F2 y F3 en ambas épocas de estudio ($p < 0{,}05$) (Figuras 4e y 4f).

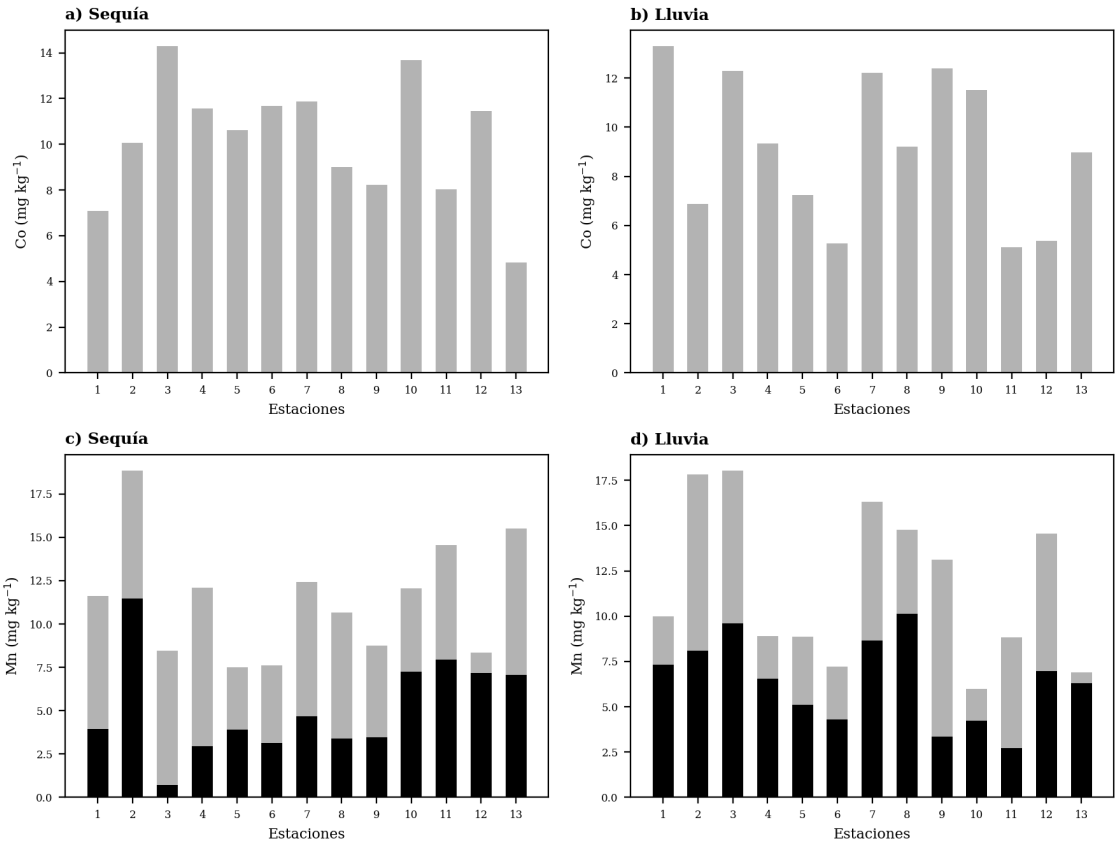


Figura 4. Distribución fraccional del Cobalto-Co y Manganeso-Mn en sequía (a,c) y lluvia (b,d), en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

ISNN 2588-0764 | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

Índice de geoacumulación (I_{geo}), Índice potencial de acumulación (CP) e Índice de carga contaminante (ICC)

El índice de geoacumulación (I_{geo}), el índice potencial de carga (CP) y el índice de Carga contaminante (ICC) de los siete metales analizados durante todo el estudio indicaron que, los sedimentos en la ensenada de Carenero, no están contaminados, excepto por los niveles de cadmio, que indican una contaminación moderada (Tabla 5).

Tabla 5. Índice de geoacumulación (I_{geo}) de los metales Fe, Zn, Pb, Cd, Cu, Co y Mn en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

Estación	Fe	Zn	Pb	Cd	Cu	Co	Mn
1	−2,34	−2,68	−0,24	2,60	1,90	0,47	−1,88
2	−2,05	−0,55	−0,24	0,00	1,92	1,58	−1,19
3	−3,85	−4,83	−1,45	2,64	−1,60	2,10	−2,35
4	−2,88	−3,91	−1,13	0,00	−1,44	1,61	−1,83
5	−4,04	−3,71	−1,61	2,37	−2,39	1,87	−2,50
6	−4,02	−4,91	−1,45	2,59	−2,16	1,39	−2,49
7	−3,03	−4,66	−1,96	0,00	−1,46	1,87	−1,80
8	−3,33	−5,21	−2,11	0,00	−1,36	1,72	−2,01
9	−3,70	−4,52	−1,23	2,60	−1,86	1,21	−2,29
10	−3,36	−3,84	−1,41	0,00	−1,55	2,19	−1,82
11	−1,63	−2,32	−2,15	2,64	−0,89	1,64	−1,55
12	−2,90	−2,92	−1,91	2,69	−1,20	2,02	−2,37
13	−1,87	−3,11	−0,95	2,69	−1,17	0,44	−1,48

Los valores de Fe, Mn, Zn, Pb y Co, fueron negativos en todas las estaciones, no obstante, el Cd en la estación 13 (ubicada fuera de la ensenada) registro un valor de 2,69 (Tabla 5). El índice potencial de acumulación (CP) de los metales analizados Fe, Zn, Pb, Cd, Co y Mn, presentaron valores por debajo de 1, a excepción del cadmio (Tabla 6). El cobre no se incluyó en el cálculo de estos índices por no disponerse de un valor de fondo (B_n) publicado para este metal en el golfo de Cariaco. De acuerdo al ICC, los sedimentos se encuentran en bajo grado de contaminación, en cada una de las estaciones (Tabla 6).

Tabla 6. Índice potencial de acumulación (Cp) de los metales Fe, Zn, Pb, Cd, Cu, Co y Mn en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela.

Estación	Fe	Zn	Pb	Cd	Cu	Co	Mn	ICC
1	0,05	0,12	0,36	9,73	0,64	0,29	0,009	1,40
2	0,06	0,54	0,36	0,00	1,58	0,42	0,010	1,67
3	0,01	0,02	0,15	9,99	0,73	0,58	0,006	1,40
4	0,03	0,05	0,20	0,00	0,81	0,50	0,009	1,06
5	0,01	0,06	0,14	8,28	0,42	0,54	0,005	1,37
6	0,01	0,02	0,16	9,65	0,49	0,35	0,005	1,39
7	0,03	0,03	0,11	0,00	0,80	0,50	0,009	1,05
8	0,02	0,02	0,10	0,00	0,86	0,45	0,008	1,05
9	0,02	0,03	0,18	9,73	0,61	0,36	0,006	1,39
10	0,02	0,05	0,16	0,00	0,75	0,66	0,009	1,07
11	0,08	0,16	0,10	10,02	1,19	0,41	0,011	1,41
12	0,03	0,10	0,12	10,32	0,96	0,57	0,006	1,41
13	0,07	0,09	0,22	10,20	0,98	0,18	0,012	1,41

CC BY NC ND

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

Correlación de los parámetros geoquímicos de la ensenda de Carenero durante los períodos de sequía y lluvia

El Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables geoquímicas para todas las estaciones evidenció un porcentaje de varianza acumulado en los tres primeros componentes de 78,3 %. En la proyección ortogonal del análisis, en el período de sequía (Figura 5a), se observó que el primer componente queda definido claramente en dos grupos, la mayoría de las tres fracciones de los siete metales analizados junto con el PT, NT y carbonato de calcio, mostraron una relación inversa con el contenido de materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico, Co, Cd (F2 y F3) y Pb y Zn en sus fracciones 2. En el segundo componente, se observan igualmente dos grupos, conformados por la materia orgánica y el carbono orgánico, los cuales estuvieron asociados positivamente con el NT y los metales como Zn, Mn, Pb en sus fracciones totales y biodisponibles, estas variables se asocian negativamente con el fósforo total, carbonato de calcio con la F1, F2 y F3 de Zn, Cd y la F2 de Zn. En el período de lluvia (Figura 5b), las disposiciones espaciales de las variables difieren del período anterior, observándose que el contenido de CO y la materia orgánica, estuvieron asociados con el NT, PT, carbonato de calcio, Pb y Cu biodisponible, Cd (F2 y F3) y Zn (F2), asociándose todas estas variables negativamente con el Fe, Co, Mn en sus tres fracciones, el Cu y Pb (F2 y F3) y Zn (F1 y F3). En el segundo componente, la mayoría de las variables analizadas se asocian positivamente, el contenido de MO y CO, carbonato de calcio y PT, con metales biodisponibles como Pb, Fe y Mn, en sus tres fracciones.

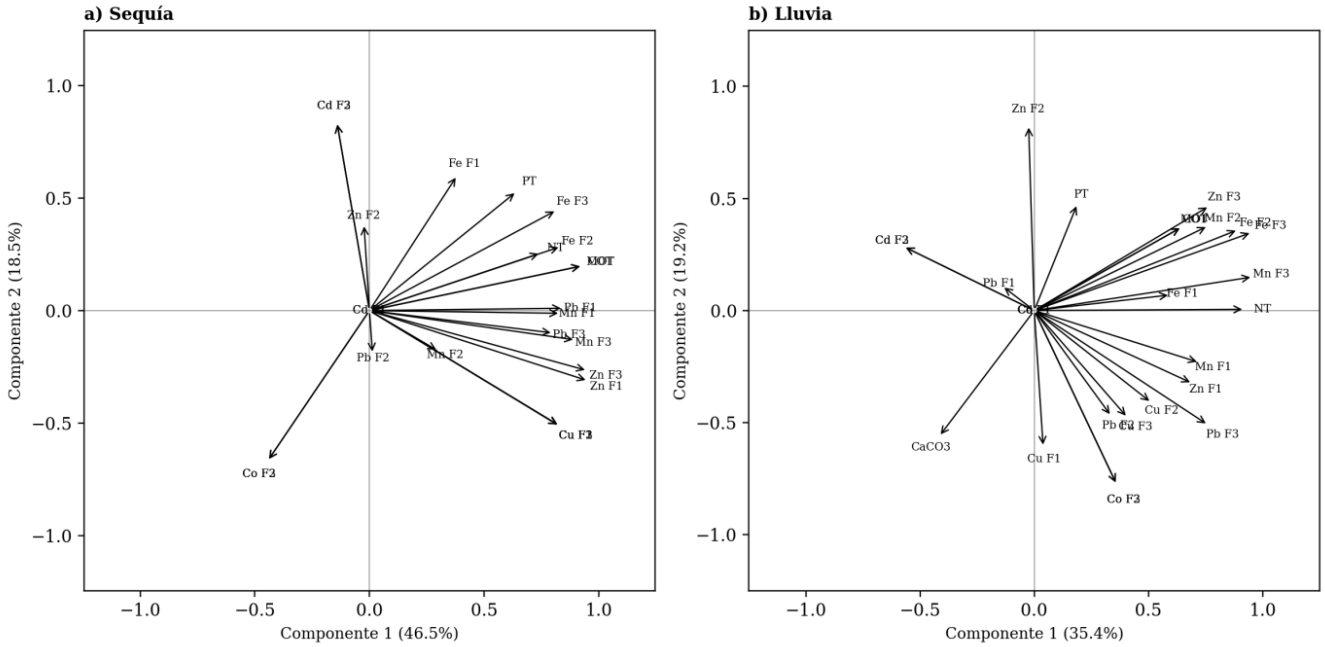


Figura 5. Proyección ortogonal del ACP de los parámetros geoquímicos en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, nororiente de Venezuela, durante la época de sequía (a) y lluvia (b). Porcentaje de varianza explicado: Componente 1 y Componente 2 indicados en cada eje.

4. Discusión

La ensenada de Carenero corresponde a un sistema semicerrado, cuya entrada está delimitada por dos promontorios que condicionan la dinámica costera en función de la estacionalidad ambiental. Este sistema se encuentra influenciado por las corrientes del golfo de Cariaco, las cuales presentan una dirección predominante hacia el norEste durante el período de sequía, asociado a la intensificación de los vientos alisios, y hacia el noroeste durante el período lluvioso, cuando dichos vientos disminuyen. La configuración geomorfológica de la entrada de la ensenada favorece, según McCabe et al. (2006), la generación de ondas internas que inducen la formación de vórtices, incrementando la resistencia al flujo y promoviendo una mezcla persistente en la columna de agua, particularmente en la zona central de la ensenada. En contraste, las áreas periféricas presentan una menor energía hidrodinámica, lo que favorece la deposición de sedimentos de fracción fina, los cuales muestran una mayor interacción con los parámetros fisicoquímicos evaluados, el proceso antes descrito, se ve reforzado por la presencia de manglares a lo largo de parte

ISNN 2588-0764 | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

del borde de la ensenada, los cuales actúan como disipadores de energía, reduciendo la intensidad de los procesos hidrodinámicos (Quintero et al., 2009). No obstante, la distribución asimétrica de los sedimentos, encontrada en la zona, caracterizada por un predominio de la fracción arenosa, sugiere que la ensenada de Carenero opera como un sistema hidrodinámico de alta energía.

Los máximos valores de COT y MOT en la época de sequía, se situaron en la zona Este (1, 2 y 11), la cual está bordeada por mangles (*Rhizophora mangle*), asociados aparches coralinos, y asentamientos humanos, los cuales pudieran estar actuando como fuentes de carbono. En este sentido, Castro & Valdés (2012) y Marquez et al. (2024), indicaron que el incremento de las concentraciones de MOT y COT están relacionadas, con la presencia de organismos asociados y desechos orgánicos que se acumulan en el fondo marino costero. De manera contraria, en el período de lluvia, las mayores concentraciones se registraron en el extremo Oeste (estación 3), caracterizada por una zona desnuda con ausencia de manglares. Esta diferencia temporal de las concentraciones de dichas variables, se asocia con la hidrodinámica que se produce en la ensenada de Carenero, explicada anteriormente. En época de sequía, los vientos Alisios soplan con mayor aceleración aportando una alta energía en el sistema, acompañado por una menor precipitación de partículas, mientras que al disminuir la intensidad de las corrientes, por acción de los vientos en el período de lluvia, se produce una mayor acumulación de partículas e incremento en los valores de las variables químicas antes mencionadas, particularmente en la zonas de manglares.

La distribución de carbonato de calcio $CaCO_3$, presentó sus mayores concentraciones en la zona Norte (entrada de la ensenada) y Este, lo cual concuerda con el tipo de arena obtenida en estas estaciones (principalmente en la entrada), denotándose que el carbonato constituye el mineral más abundante (53 a 96 %) en las fracciones gruesas (gravas, arenas muy gruesas, gruesas y media), según lo reportado por Marquez et al. (2023) estos valores podrían estar asociados con la presencia de corales en la zona.

Las concentraciones de NT durante la época de sequía, presentaron un patrón espacial y temporal donde sus mayores valores se registraron en la zona Este y las menores en la zona Oeste, mientras que en la época de lluvia las mayores concentraciones se observan en las estaciones 7 y 8 (zona Oeste). La concentración de nitrógeno podría estar influenciado principalmente por la disminución de la corriente durante dicha época, generando un incremento de las concentraciones en comparación con respecto al período de sequía; Este patrón es similar al observado con el carbono orgánico en los dos períodos ambientales, concluyéndose que en esta zona existen aportes antropogénicos, que se almacenan en el sedimento. En este contexto, Ramos et al. (2021) observaron un patrón comparable al analizar la geoquímica de sedimentos marinos en la costa de Venezuela, donde la retención de nutrientes y componentes orgánicos esta estrechamente modulada por la interaccion entre la fracción fina del sedimento y los aportes de origen natural y antrópico. No obstante, los mayores niveles de acumulación reportados en sistemas de mayor confinamiento sugieren que en la ensenada de Carenero, la energía hidrodinámica actúa como un factor limitante que atenua la retención masiva de dicho material en las zonas central y Sur del sistema.

Por su parte, el PT, presentó sus mayores valores en ambos períodos de estudio en el extremo Este (estaciones 1 y 2) y Norte (estación 11), detectándose sus menores concentraciones en la zona Oeste en el período de sequía y zona Sur en el período de lluvia. Por el contrario, las mayores concentraciones de PT se registraron en la zona Este. Estas concentraciones sugieren la influencia de aportes exógenos derivados de las actividades antrópicas y los asentamientos comunitarios situados en la franja costera Sur de la ensenada. Este patrón concuerda con datos reportados por Ramos et al. (2021) en sedimentos litorales de Venezuela, donde las descargas continentales y el confinamiento relativo de las aguas, promueven incrementos puntuales de nutrientes mena áreas cercanas a la costa. Sie embargo, la magnitud de acumulación registrada en carenero, resulta moderada, al compararla con otros sectores del golfo de Cariaco y la región costera oriental, lo que refleja un efecto atenuador debido a la hidrodinámica del sistema.

Las concentraciones de los metales en los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, mostraron un patrón decreciente: Fe > Zn > Mn > Co > Pb > Cd > Cu, con la excepción del valor atípico de Cu registrado en la estación 2. De estos elementos, el Cd y el pico puntual de Cu en el sector Este, superaron los umbrales de referencia ambiental para sedimentos marinos. Este comportamiento coincide con lo reportado por Ramos et al. (2021), quienes constataron que los sedimentos marinos superficiales de las costas de Venezuela, presentan un enriquecimiento de moderado a severo de Cd, asi como incrementos de cobre y plomo asociados a la actividad humana costera y a la hidrodinámica particular de litoral. La reactividad, biodisponibilidad y potencial toxicológico de estos elementos dependen estrechamente de sus formas químicas de enlace y de la especiación en el sedimento. En términos generales, la distribución de las fracciones totales y biodisponibles mostro sus máximos en la zona Este (estaciones 1 y 2) y en las estaciones externas de referencia (11, 12 y 13), encontrándose dentro de los rangos de cnconcentración de metales

CC BY NC ND

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

reportados para la región costera nororiental de Venezuela.

La distribución espacial de los siete metales analizados, esta influenciada por la hidrodinámica de la ensenada de Carenero, la intensidad de las corrientes producto de los vientos alisios, las variables geoquímicas, la granulometría del sedimento, el contenido de partículas orgánicas, nitrógeno y fósforo total. Los porcentajes de COT y MOT más elevados de la ensenada, se correlacionó positivamente en este estudio con la acumulación de metales como el Cd, Zn, Co, Fe y Pb; las partículas de materia orgánica, junto con el porcentaje de arcilla. Particularmente, una mayor incidencia de las precipitaciones que ocasionan la formación de escorrentías, podrían estar aportando contaminantes y materiales litogénicos, asociado con las actividades humanas podrían estar contribuyendo a aumentar los niveles de metales en los sedimentos.

En el litoral Venezolano, se ha demostrado que la acumulación de Zn los sedimentos marinos superficiales esta fuertemente ligada a la presencia de oxihidróxidos de Fe y Mn, la materia orgánica y las fracciones litogénicas finas. En la ensenada de Carenero, los mayores niveles de Zn coincidieron espacialmente con los valores más elevados de COT y MOT registrados durante ele periodo de sequia. Por su parte la distribución espacial del Pb, mostró una marcada afinidad con los patrones del Zn, Fe y de la materia orgánica durante dicha época. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Ramos et al. (2021), para ambientes sedimentarios marinos de Venezuela, donde la retención, distribion espacial y la variabilidad estacional de metales como el Zn y el Pb, están estrechamente moduladas por la cantidad de materia orgánica disponible con el coplament de la fracción mineral fina y la hidrodinámica local. En este sentido, Martinez et al. (2011) sugieren que el mayor porcentaje de Fe (62,36 %) se asocia a la materia orgánica y al azufre que se depositan en los sedimentos de la región marina costera del sector oriental del golfo de Cariaco. De acuerdo a Bonilla et al. (2003), las altas concentraciones de hierro, favorecen los procesos de floculación de este elemento, complejación y adsorción a pH mayores de 8, haciendo que el metal precipite hacia los sedimentos en forma de óxidos o hidróxidos; la concentración de este metal está en relación directa con otros parámetros, especialmente con el tipo de grano arenoso-limoso-arcilloso. Con respecto al plomo, Fuentes et al. (1997) encontraron una asociación positiva y significativa entre altos niveles de Pb con la materia orgánica y sulfatos en sedimentos superficiales, en el golfo de Cariaco. El Pb por estar cargado positivamente, puede ser adsorbido por partículas en suspensión, materia orgánica y el $CaCO_3$, funcionando estos compuestos como un sumidero de plomo (Martorell, 2010). La concentración de Mn en la ensenada de Carenero, es menor que la reportada para sedimentos no contaminados, de acuerdo a lo señalado por Bonilla et al. (2003) quienes señalan el efecto que ejerce la hidrodinámica del golfo de Cariaco, sobre la remoción de este metal. La presencia de manglares, podría aportar Mn origen biogénico.

La ensenada de Carenero es un ecosistema que tiene una moderada fertilidad orgánica, con remoción significativa del material orgánico, por su hidrodinámica. El índice de geoacumulación (I_{geo}), el índice potencial de carga (CP) y el índice de carga contaminante (ICC) de los siete metales analizados en la ensenada de Carenero, indicaron que los sedimentos en el área de estudio no están contaminados, con excepción de los niveles de Cd reportados (en las dos primeras estaciones), Por lo que se sugiere que existe un potencial de riesgo de contaminación moderado con el cadmio. De acuerdo SQUIRTS standard (Arcega-Cabrera et al., 2015) los valores detectados en la ensenada de Carenero sobrepasan los rangos permitidos para las concentraciones en el sedimento.

La ensenada de Carenero, es una zona litoral transitada por embarcaciones dedicadas principalmente a actividades pesqueras, además existen aportes antropogénicos que penetran por vía marina, en este sentido, Martínez (2002) señala impactos de origen antropogénico para los sedimentos de la región Norte (1,58 mg kg^{-1}), Sur (1,20 mg kg^{-1}) y transepto central (6,21 mg kg^{-1}) del golfo de Cariaco. Acosta & Lodeiros (2004) señalaron que la removilización y biodisponibilidad los niveles de cadmio se incrementan en el medio durante los periodos de surgencia costera.

5. Conclusiones

La composición de los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, presenta cambios temporales y espaciales. Los parámetros geoquímicos en el sedimento presentan una condición biogeoquímica latente de riesgo de contaminación del sedimento por plomo y cadmio. La cantidad de materia orgánica registrada en los sedimentos estuvo asociada con la textura, tasa de sedimentación y de la relación entre las velocidades de aporte y descomposición de la materia orgánica. Los resultados obtenidos contribuyen a expresar la condición actual de ese ecosistema.

6. Declaración de conflicto de interés de los autores

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

ISNN 2588-0764 | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

7. Referencias

Acosta, V., & Lodeiros, C. (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. *Ciencias Marinas*, *30*, 323-333. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802004000300005

Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W., & Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, *27*(12), 686-690. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002001200007

Acosta-Balbás, V., Gotera, B., Barrios-Mantilla, J., & Jiménez-Ramos, E. (2023). Composición florística de macroalgas asociadas a *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en dos ensenadas del Caribe venezolano: Composición florística de macroalgas. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, *52*(1), 159-174. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9521128

Arcega-Cabrera, F., Garza-Pérez, R., Noreña-Barroso, E., & Oceguera-Vargas, I. (2015). Impacts of geochemical and environmental factors on seasonal variation of heavy metals in a coastal lagoon Yucatan, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *94*(1), 58-65. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00128-014-1416-1

Bonilla, J., Aranda, S., Ramírez, C., Moya, J., & Espinosa, L. (2003). Calidad de los sedimentos superficiales de la ensenada Grande del Obispo, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, *42*, 3-27. https://iov-udo.com/revista/index.php/boletin57-1/article/view/619

Cabrera, J. M., Temporetti, P. F., & Pedrozo, F. L. (2020). Trace metal partitioning and potential mobility in the naturally acidic sediment of Lake Caviahue, Neuquén, Argentina. *Andean Geology*, *47*(1), 46-60. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5027/andgeoV47n1-3200

Castro, G., & Valdés, J. (2012). Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23ºS, norte de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *40*(2), 267-281. https://doi.org/10.3856/vol40-issue2-fulltext-3

Davaulter, V., & Rognerud, S. (2001). Heavy metal pollution in sediments of the Pasvik River drainage. *Chemosphere*, *42*, 9-18. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00094-1

Fuentes, M., Bonilla, J., & Fermín, J. (1997). Algunas características químicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*, *36*(1–2), 69-79. https://iov-udo.com/revista/index.php/boletin57-1/article/view/411

Fuentes-Hernández, M. V. (2021). Condición ambiental del sedimento del sector oriental del golfo de Cariaco. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, *13*(1), 57-76. https://doi.org/10.15359/revmar.13-1.4

Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J. J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, *26*, 20-28. https://doi.org/10.25054/22161325.2527

Márquez, A., García, O., Senior, W., Martínez, G., González, A., & Fermín, I. (2012). Metales pesados en sedimentos superficiales del Río Orinoco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, *51*(1), 3-18. https://iov-udo.com/revista/index.php/boletin57-1/article/view/160

Márquez, A., Romero, J., Troccoli, L., Senior, W., Lemus, A., & González, A. (2023). Variación del sistema carbónico en una zona costera del Caribe dedicada al cultivo de mitílidos: Caso golfo de Cariaco. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, *6*(1), 65-82. https://www.researchgate.net/publication/379043799_Variacion_del_sistema_carbonico_en_una_zona_costera_del_Caribe_dedicada_al_cultivo_de_mitilidos_Caso_golfo_de_Cariaco_Variation_of_the_carbon_system_in_a_Caribbean_coastal_area_dedicated_to_mithilid_c

Márquez, A., Romero, J., Troccoli Ghinaglia, L., Senior, W., Lemus, A., & González, Á. (2024). Variación del sistema carbónico en una zona costera del Caribe dedicada al cultivo de mitílidos: Caso golfo de Cariaco. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, *6*(1), 65-82. https://www.researchgate.net/publication/379043799_Variacion_del_

CC BY NC ND

sistema_carbonico_en_una_zona_costera_del_Caribe_dedicada_al_cultivo_de_mitilidos_Caso_golfo_de_Cariaco_Variation_of_the_carbon_system_in_a_Caribbean_coastal_area_dedicated_to_mithilid_c

Martínez, G. (2002). Metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, *41*(1–2), 83-96. https://iov-udo.com/revista/index.php/boletin57-1/article/view/616

Martínez, G., Senior, W., Márquez, A., Rodríguez, L., & González, Á. (2011). Distribución y comportamiento de los metales traza Cd, Cu, Ni y Zn en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, *50*(2), 289-301. http://saber.udo.edu.ve/index.php/boletiniov/article/view/442/323

Martorell, J. (2010). *Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa Suratlántica andaluza afectados por contaminación difusa* [Tesis doctoral, Universidad de Cádiz]. http://hdl.handle.net/10498/15776

McCabe, R., MacCready, P., & Pawlak, G. (2006). Form drag due to flow separation at a headland. *Journal of Physical Oceanography*, *36*, 2136-2152. https://doi.org/https://doi.org/10.1175/JPO2966.1

Quintero, A., Terejovay, G., & Bonilla, J. (2009). Las corrientes marinas en el golfo de Cariaco. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, *48*(2), 109-120. https://iov-udo.com/revista/index.php/boletin57-1/article/view/734

Ramos, R., Verde, A., & García, E. M. (2021). Metales pesados en sedimentos marinos de Venezuela: concentraciones, grado de contaminación y distribución. *Ciencias Marinas*, *47*(3), 185-199. https://doi.org/https://doi.org/10.7773/cm.v47i3.3124

Robledo Ardila, P. A., Álvarez Alonso, R., Durán Valsero, J. J., Morales García, R., Árcega Cabrera, F., Lamas Cosío, E., & Durán Laforet, S. (2023). Assessment of heavy metal pollution in marine sediments from southwest of Mallorca island, Spain. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*, 16852-16866. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-022-25014-0

Rojas de Astudillo, L., Chang Yen, I., & Bekele, I. (2005). Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, *53*(Suppl. 1), 41-51. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442005000300009&lng=en&tlng=en

Romero, P., Malavé, K., Pinto, R., & Díaz-Díaz, O. (2016). Geoquímica de los sedimentos superficiales de la Laguna La Restinga, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, *55*(1), 86-92. https://iov-udo.com/revista/index.php/boletin57-1/article/view/110

Romero-Fereira, P., Acosta, V., & Jiménez-Ramos, E. (2022). Fauna bentónica y valoración ambiental de la ensenada de Carenero, Venezuela / Benthic fauna and environmental assessment of the Carenero cove, Venezuela. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *5*, 758-781. https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-057

U.S. Environmental Protection Agency. (1996). *Method 3052: Microwave Assisted Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices* [Revision 0 (December 1996). Test Methods for Evaluating Solid Wastes: Physical/Chemical Methods, EPA SW-846, Third Ed., Vol. I, Section A, Chapter 3, pp. 3052-1–3052-20]. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste y Emergency Response. Washington, D.C. https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3052-microwave-assisted-acid-digestion-siliceous-and-organically-based

Worsfold, P., McKelvie, I., & Monbet, P. (2020). Historical developments in the determination of phosphorus in natural waters. *Analytica Chimica Acta*. https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.06.011

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

8. Contribución de Autores

Autor	Contribución
Vanessa Acosta de Matheus	Redacción del borrador original, Metodología, Investigación.
Patricia Romero-Ferreira	Redacción, revisión y edición, Metodología, Conceptualización, Supervisión.

CC BY NC ND

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec | Vol. 11. Núm. 1 (32-48): Enero-Abril, 2026 | DOI: 10.33936/revbasdelaciencia.v11i1.8367