

GEOQUÍMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA DE UNARE, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA

MARTÍNEZ GREGORIO¹, MARCANO DAYANA², QUINTERO ANTONIO¹, BRITO FELICIA¹, MARÍN FERNANDO² & GUTIÉRREZ ARGELIA²

¹*Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, estado Sucre. *Autor de correspondencia: goyomartinez@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1882-752X>
agqr2005@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6258-0985>
felicia.brito@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7030-9327>*

²*Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”, Cumaná, estado Sucre, Venezuela. dayanamarcanol@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-6935-3107>
marinjimenezfernando@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8020-9397>
gutierrezargelia23@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-2460-3619>.*

Resumen: Se realizó un estudio geoquímico en sedimentos recientes de la laguna de Unare para evaluar las relaciones elementales, índices de productividad y estado trófico. Se fijaron 8 estaciones de muestreo para recolectar muestras superficiales y un núcleo de sedimento de 45 cm de profundidad, preservadas a -20°C hasta su análisis. Se determinaron granulometría, contenido de carbono orgánico (COT), materia orgánica total (MOT), carbonato de calcio (CaCO₃), nitrógeno total (NT), proteínas (PROT), carbohidratos (CHOT), fósforo total (PT), fósforo inorgánico (PI) y fósforo orgánico (PO). Los sedimentos fueron mayoritariamente limosos, con una estación limo-arenosa. Se hallaron valores promedio de MOT (7,41%), COT (4,16%), NT (1663 mg/kg), PT (385 mg/kg), CHOT (6649 mg/kg) y PROT (10391 mg/kg). El fósforo mostró un promedio de PI (161 mg/kg) y PO (223,86 mg/kg). Predominó la fracción orgánica de fósforo en sedimentos superficiales, mientras que en el núcleo dominó la fracción inorgánica. Los máximos valores de MOT, COT, NT, PT, CHOT y PROT se asociaron con sedimentos finos, indicando aportes biogénicos, litogénicos y fluviales. Los niveles de CHOT y PROT indican un ambiente eutrófico. La relación COT: NT sugiere un origen terrestre de la materia orgánica (C/N: 27,05), y la relación NT: PT señala que el fósforo es el nutriente limitante, con el nitrógeno como el más utilizado por los organismos. La relación PI/PO (0,86) evidencia el predominio de variables biológicas en el ecosistema.

Palabras Claves: Materia orgánica, proteínas, carbohidratos, laguna de Unare.

Abstract: This work explores the recent sediments of the Unare Lagoon to understand how their geochemical characteristics relate to productivity indicators and the lagoon's trophic condition. Sampling included eight surface stations and a 45-cm core, both kept at -20 °C until laboratory processing. The analyses covered grain size, total organic carbon (TOC), total organic matter (TOM), calcium carbonate, total nitrogen (TN), proteins, carbohydrates, and total, inorganic, and organic phosphorus. Most sediments were silty, with only one station showing a mixed silt-sand texture. Average concentrations were TOM (7.41%), TOC (4.16%), TN (1663 mg/kg), total phosphorus (385 mg/kg), carbohydrates (6649 mg/kg), and proteins (10391 mg/kg). Phosphorus fractions displayed mean values of inorganic phosphorus (161 mg/kg) and organic phosphorus (223.86 mg/kg), with organic forms dominating at the surface, while the core showed a shift toward inorganic forms with depth. Higher TOM, TOC, TN, phosphorus, carbohydrates, and proteins were consistently associated with finer sediments, indicating combined biogenic, lithogenic, and riverine contributions. The elevated levels of carbohydrates and proteins reflect eutrophic conditions. The C/N ratio (27.05) suggests a mainly terrestrial origin of the organic material, whereas the TKN: TP relationship indicates that phosphorus is the limiting nutrient. The IP/OP ratio (0.86) further supports the influence of biological processes on phosphorus cycling in the lagoon.

Keywords: Organic matter, proteins, carbohydrates, Unare lagoon

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marino-costeros son ambientes dinámicos con alta variabilidad en sus tipos de sedimentos, hábitats biológicos y procesos de transporte y deposición. Esta combinación de elementos los

convierte en espacios particularmente sensibles desde la perspectiva de la gestión sostenible y conservación ambiental (MÁRQUEZ *et al.* 2007). En las últimas décadas, el interés científico por estos entornos ha aumentado de forma notable, especialmente porque en las regiones tropicales conforman un mosaico de sistemas interconectados que sostienen una elevada productividad y diversidad biológica (RAMÍREZ 1996; FERROL-SCHULTE *et al.* 2013).

Entre estos ecosistemas destacan las lagunas costeras, consideradas como ecosistemas altamente variables debido a la interacción continua entre aportes continentales y marinos. Esta mezcla determina fluctuaciones estacionales en las propiedades físicas y químicas del agua, en la composición del sedimento y en la dinámica de las comunidades biológicas (YÁÑEZ-ARANCIBIA *et al.* 2014; TAVARES *et al.* 2015). HERRERA-SILVEIRA (2006) describió estos cuerpos de agua como sistemas alargados y paralelos a la costa, conectados con el mar mediante bocas o canales y delimitados por barreras físicas o hidrodinámicas. Además de su relevancia geomorfológica, las lagunas costeras funcionan como refugio para numerosas especies, sitios de hibernación de aves migratorias y hábitat de especies en peligro de extinción (VÁSQUEZ *et al.* 2010). Sin embargo, esta riqueza biológica también las hace sensibles a la presión humana. Ya que la explotación de recursos y las actividades asociadas pueden alterar su equilibrio ecológico y degradar sus ambientales (CONTRERAS-ESPINOSA & WARNER 2004; PÉREZ-RUZAFÁ *et al.* 2005).

Las zonas marino-costeras suelen actuar como espacios donde se acumulan tanto minerales como distintos contaminantes de origen orgánico e inorgánico. Estos materiales pueden permanecer en la columna de agua o quedar adheridos a las partículas en suspensión hasta depositarse finalmente en los sedimentos (FUENTES 2001). Por ello, la matriz sedimentaria se ha convertido en un componente clave en los estudios geoquímicos, ya que refleja la interacción continua entre los procesos físicos, químicos y biológicos del entorno (HELING *et al.* 2012). Además, los sedimentos de lagunas costeras son particularmente sensibles a las presiones antrópicas debido a su capacidad para retener elementos químicos, lo que puede alterar el equilibrio ecológico del sistema (MÁRQUEZ *et al.* 2008; VELÁSQUEZ *et al.* 2016). A esto se suma que muchos agentes tóxicos pueden permanecer en el sedimento durante largos periodos, dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas (PETROVIC & BARCELÓ 2004).

Los sedimentos en estos ambientes deposicionales muestran una marcada heterogeneidad en sus propiedades geoquímicas producto de la mezcla de materiales de origen terrígeno, biológico y autigénico (CARRANZA-EDWARDS *et al.* 2005). Su análisis también permite identificar las fuentes de aporte y reconstruir la evolución del sistema, brindando información sobre las condiciones ambientales que prevalecieron durante la deposición (HURTADO 2015). Para ello, la caracterización de los sedimentos suele incluir parámetros como carbono orgánico e inorgánico, nitrógeno, fósforo, carbohidratos, entre otros, que ayudan a diferenciar los aportes de materia orgánica y a interpretar los procesos de deposición y transformación diagenética propios del entorno (CARRANZA-EDWARDS *et al.* 2005).

En el norte de Venezuela, el sistema de lagunas costeras estuarinas de la Cuenca Tuy-Cariaco incluye las lagunas Tacarigua, Unare y Píritu, consideradas humedales de alta importancia ecológica por su función como refugio de fauna silvestre y aves migratorias. Entre ellas, la laguna de Unare, la segunda en extensión, se caracteriza por ser un ecosistema altamente productivo, donde la deposición y descomposición de materia orgánica ocurren de manera continua (SENIOR 1994; FERMÍN 2002; RODRÍGUEZ *et al.* 2006). Sin embargo, al igual que otros sistemas de la región, muestra signos crecientes de alteración derivados del aumento poblacional y de diversas actividades antrópicas, las cuales aportan metales pesados y elevadas cargas de nutrientes que afectan su equilibrio ecológico (FERMÍN 2002; MARTÍNEZ-ROMERO 2002; LÓPEZ *et al.* 2006; MÁRQUEZ *et al.* 2008).

Diversos estudios en la laguna de Unare y en otros sistemas lagunares del oriente venezolano han abordado distintos aspectos de su dinámica ambiental. Entre ellos destacan evaluaciones hidroquímicas comparativas (OKUDA & BENÍTEZ 1985), análisis de productividad vinculados a los aportes terrígenos y la interacción océano-continente (SENIOR 1994), así como investigaciones geoquímicas que caracterizan a

la laguna como un ambiente eutrófico a partir del estudio de los sedimentos superficiales (FERMÍN 2002), y concentraciones de metales pesados en sedimentos recientes y su influencia sobre la calidad ambiental del sistema (LÓPEZ 2002). Otros trabajos han profundizado en la presencia de metales en columnas de sedimentos y su correlación con materia orgánica revelan contaminación en la zona producto de la presencia de metales tóxicos en tejidos de peces y crustáceos y la distribución homogénea de metales en sedimentos según las fuentes de contaminación (LÓPEZ *et al.* 2006; MÁRQUEZ *et al.* 2008; VALERO 2016).

La geoquímica de sedimentos en sistemas lagunares de Venezuela ha sido abordada en distintos estudios que permiten comprender la dinámica ambiental de estos ecosistemas. En la laguna Las Marites, por ejemplo, se caracterizaron las propiedades geoquímicas de los sedimentos superficiales (SALAZAR *et al.* 1986), mientras que en la laguna de Chacopata se evaluaron tanto la composición sedimentaria como las concentraciones de metales pesados (FUENTES 2001; PÉREZ *et al.* 2006). Investigaciones adicionales en lagunas costeras del oriente del país incluyen el análisis de la laguna de Los Patos (MÁRQUEZ *et al.* 2007) y las variaciones temporales de la meiofauna asociadas a los sedimentos (VÁSQUEZ *et al.* 2010). En el complejo Chacopata–Bocaripo se estudiaron los niveles de aceites, grasas e hidrocarburos totales en sedimentos (PÉREZ *et al.* 2015), mientras que para la laguna La Restinga se estimaron los contenidos de materia orgánica y metales pesados (ROMERO *et al.* 2016) junto con análisis granulométricos y determinación de carbono, nitrógeno, fósforo e hidrocarburos (VELÁSQUEZ *et al.* 2016). En la laguna El Morro, isla de Margarita, se han documentado variaciones en la composición y abundancia del zooplancton, nutrientes y condiciones ambientales a lo largo de diferentes periodos (VILLALBA *et al.* 2017).

Los estudios antes mencionados indican que la concentración y distribución de especies inorgánicas en los sedimentos guardan una estrecha relación con las actividades antrópicas desarrolladas por las poblaciones cercanas, lo que ha generado impactos negativos en estos humedales que actúan como sitios de reproducción y refugio para numerosas especies de importancia pesquera y artesanal (PÉREZ *et al.* 2007). La mayoría de las investigaciones realizadas en sedimentos costeros se han orientado al seguimiento de su calidad ambiental y a la identificación de cambios inducidos por la presión humana. Considerando la dinámica acelerada de los procesos hidrodinámicos en estos sistemas, junto con sus particularidades hidroquímicas, biológicas y geoquímicas, se planteó como objetivo general en esta investigación evaluar la distribución y el comportamiento geoquímico de componentes clave de la materia orgánica (carbono orgánico total, carbonatos, nitrógeno, fósforo orgánico e inorgánico, carbohidratos y proteínas) en los sedimentos recientes de la laguna de Unare, con el propósito de comprender su variabilidad espacial y los factores que condicionan su acumulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Laguna de Unare (Fig. 1), ubicada entre 8° 44' 00"–10° 06' 27" N y 65° 12' 49"–65° 75' 40" O, tiene 22 km de longitud y un ancho máximo de 5,5 km en la temporada de lluvias. Su área de agua varía de 41-44 km² en sequía a 60-64 km² en lluvias, con profundidades de 0,30-0,50 m y 1,0-1,70 m, respectivamente (MARTÍNEZ 2002). Recibe aportes fluviales del río Unare y de los ríos intermitentes Cautaro y Chávez, junto con otras quebradas menores (FERMÍN 2002).

La laguna de Unare, clasificada como parcialmente cerrada (LONGA & BONILLA 1987), tiene tres bocas (Mora, Nueva y Unare) que se cierran cíclicamente debido a la dinámica sedimentaria costera. El río Unare, principal tributario, aporta sedimentos y agua dulce, con otros ríos como Cautaro y Chávez contribuyendo intermitentemente. En la temporada de lluvias, el río Unare facilita el intercambio de aguas marinas y lagunares. La laguna posee fondos limo-arcillosos y es un importante refugio ecológico para fauna silvestre y aves migratorias, además de ser crucial para la pesca artesanal, beneficiando a unas 30.000 personas en los asentamientos circundantes (MÁRQUEZ *et al.* 2008).

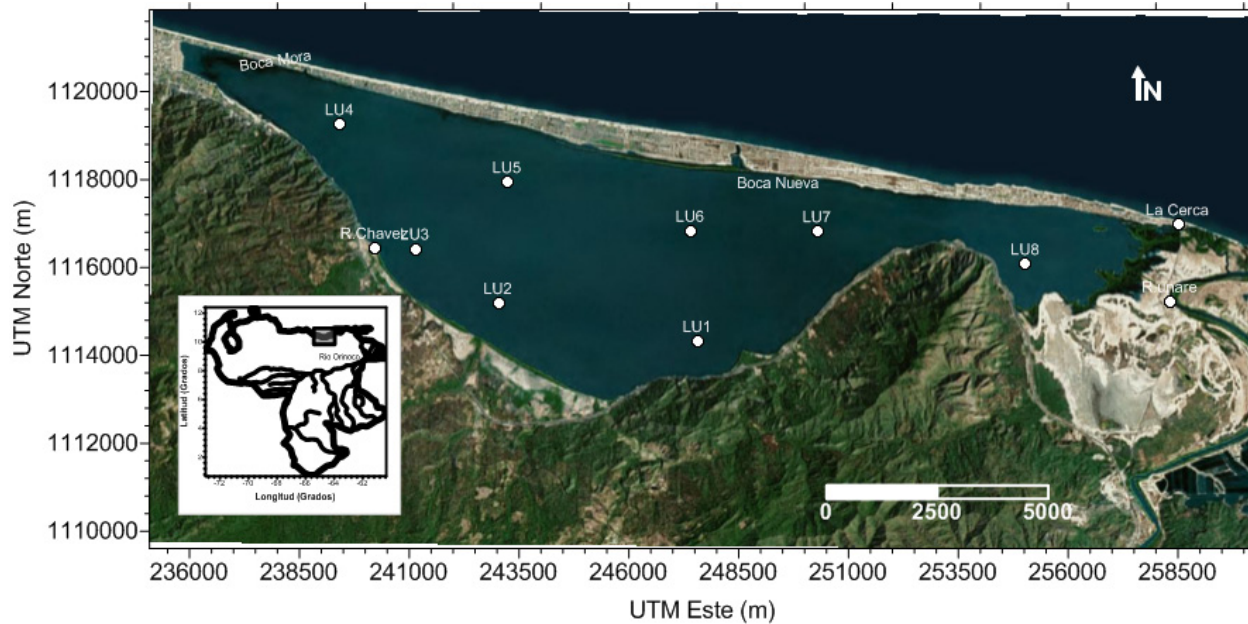


Fig. 1. Ubicación geográfica de la Laguna de Unare y de las estaciones muestreadas en el presente estudio.

El muestreo se realizó en el período de sequía, en mayo de 2015 y se recolectaron ocho muestras superficiales y un núcleo de sedimento en la laguna de Unare (LU5), georreferenciados con un GPS Garmin modelo Oregon 450 (TABLA 1), abarcando desde la boca de Mora hasta la Cerca, y entre los ríos Chávez y Unare. Para recolectar los núcleos, se utilizaron tubos de PVC de tres pulgadas de diámetro, cortados longitudinalmente y unidos con cinta plástica de alta resistencia (MARÍN 2020). La columna de sedimento se dividió en secciones de 5 cm, almacenadas en bolsas de polietileno a bajas temperaturas hasta su análisis. Las muestras superficiales, obtenidas con núcleos, se limitaron a la fracción de 0-5 cm. Posteriormente, se secaron en una estufa a 60°C, pulverizaron, homogeneizaron con un mortero y almacenaron en tubos de ensayo para la evaluación de diferentes parámetros.

Procesamiento y análisis de las muestras

Análisis granulométrico

La separación granulométrica se realizó en húmedo, de acuerdo con TOSIANI *et al.* (2005). Las muestras dispersas en agua se pasaron por tamices de diferentes tamaños para separar gravas y clases de arena. El lodo y los limos se sedimentaron durante 24 horas y se separaron por decantación. Todas las fracciones se secaron a 40°C y se pesaron. La clasificación textural se realizó según (FOLK 1978) y el triángulo de (SHEPPARD 1954) usando Tridraw versión 4.50.

TABLA 1. Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo en la Laguna de Unare.

| Estación (N°) | UTM Este (m) | UTM Norte (m) |
|---------------|--------------|---------------|
| LU1 | 20P 247569 | 20P 1114313 |
| LU2 | 20P 243034 | 20P 1115182 |
| LU3 | 20P 241144 | 20P 1116417 |
| LU4 | 20P 239426 | 20P 1119250 |
| LU5 | 20P 243238 | 20P 1117935 |
| LU6 | 20P 247409 | 20P 1116824 |
| LU7 | 20P 250295 | 20P 1116808 |
| LU8 | 20P 255033 | 20P 1116075 |

Análisis Químico

El carbono orgánico se midió mediante una adaptación espectrofotométrica del método de Walkley & Black (MIYAZAWA *et al.* 2000; SCHUMACHER 2002). La materia orgánica total se estimó con la ecuación de Vammelen y el factor corregido por HURTADO (2015). Los carbonatos se determinaron según SOTO-JIMÉNEZ *et al.* (2003) y el nitrógeno total mediante micro-Kjeldahl (WALTON 1970; SILVA & ASTORGA 2010). El fósforo total, inorgánico y orgánico se fraccionó siguiendo a ASPILA *et al.* (1976) y se cuantificó de acuerdo con BRITO *et al.* (2020). Los carbohidratos totales se analizaron según ARTEM'YEV *et al.* (1971) y las proteínas con el método de Lowry modificado por HARTREE (1972).

Tratamiento de datos y Análisis Estadísticos

Los resultados fueron organizados y procesados inicialmente en Microsoft Excel. Posteriormente, se aplicaron análisis estadísticos multivariantes utilizando el software XLSTAT 2018, incluyendo análisis de componentes principales (ACP) y agrupamientos (cluster análisis), con el fin de identificar relaciones entre variables y las estaciones de muestreo. La representación espacial de las concentraciones se obtuvo mediante mapas de isoconcentración generados en Surfer 11 (Golden Software Inc.), herramienta que permitió visualizar los patrones de distribución dentro de la laguna.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Granulometría

Los sedimentos desempeñan un papel crucial en el ecosistema costero al actuar como reservorio de nutrientes y materia orgánica, influyendo directamente en el equilibrio del oxígeno disuelto y la dinámica de nutrientes en la columna de agua (JØRGENSEN 1996). La distribución porcentual de arenas, limos y arcillas permite identificar la textura de los sedimentos (HERNÁNDEZ 2012), así como áreas de depósito y patrones de energía del medio (ROSAS & LÓPEZ 2014).

En la TABLA 2, se presentan las características granulométricas de los sedimentos superficiales en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. Se observó homogeneidad en la textura entre las diferentes estaciones de muestreo. La fracción de arenas varió desde un mínimo de 0,69% (estación LU7) hasta un máximo de 26,81% (estación LU1), con un promedio de 5,50%. Los limos fueron la clase textural predominante en todo el ecosistema, con un promedio de 91,92%, alcanzando un máximo del 98,20% en la estación LU8 y un mínimo del 71,00% en la estación 1. Los lodos oscilaron entre 1,00% (estación LU8) y 6,59% (estación LU6), con un promedio de 3,84%.

La distribución de las fracciones texturales en la laguna de Unare está influenciada por varios factores como la topografía, los vientos, las descargas fluviales, especialmente del río Unare, y la hidrodinámica interna. Estos elementos afectan los procesos erosivos, la movilización de material particulado, el régimen de escorrentías y la tasa de sedimentación. La Fig. 2 muestra la distribución textural de los sedimentos superficiales en la laguna de Unare.

Según la clasificación de texturas de SHEPPARD (1954), los sedimentos superficiales en la laguna de Unare son predominantemente limosos, con la excepción de la estación LU1 en la zona suroriental, que exhibe una composición limo-arenosa (71,00% limos y 26,81% arenas) (Fig. 3a y 3b). Este patrón se atribuye principalmente a las quebradas cercanas y a las corrientes generadas por los vientos alisios, que entre noviembre y abril provocan la resuspensión del sedimento (ROA 1990; MARÍN 2020). VALERO (2016) indica que las arenas constituyen entre 0,37% y 38,80%, con un promedio de 6,28% en la laguna de Unare, destacando que los granos más finos se concentran en el centro y oeste, mientras que los más grandes se encuentran en las orillas y zona oriental, influenciados por aportes de las quebradas (Seca, Cararache) y el río Unare.

Por otro lado, SENIOR (1994) menciona que los sedimentos en las lagunas Píritu-Unare y Tacarigua son mayoritariamente limosos de origen fluvial, aunque se observa la presencia ocasional de arena de

TABLA 2. Composición granulométrica (%) y textura de los sedimentos superficiales de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

| Estación | Composición porcentual (%) | | | Textura |
|-----------------|----------------------------|-------------|-------|--------------|
| | Arenas | Lodos finos | Limos | |
| LU1 | 26,81 | 3,92 | 71,00 | Limo-arenoso |
| LU2 | 2,00 | 3,60 | 94,40 | Limoso |
| LU3 | 3,54 | 3,66 | 92,80 | Limoso |
| LU4 | 0,70 | 5,20 | 94,10 | Limoso |
| LU5 | 8,74 | 4,21 | 95,41 | Limoso |
| LU6 | 0,73 | 6,59 | 92,70 | Limoso |
| LU7 | 0,69 | 2,53 | 96,78 | Limoso |
| LU8 | 0,80 | 1,00 | 98,20 | Limoso |
| Promedio | 5,50 | 3,84 | 91,92 | |
| Mínimo | 0,69 | 1,00 | 71,10 | |
| Máximo | 26,81 | 6,59 | 98,2 | |

origen marino en áreas específicas. FERMÍN (2002) reporta una distribución homogénea de limos y arcillas en la laguna de Unare, con mayores concentraciones de limos hacia el sur y de arcillas hacia el este y sur, coincidiendo con los resultados obtenidos en este estudio.

MANGONES (2015) observó que el aporte continental y las precipitaciones abundantes llevan materiales rocosos de diversos tamaños, especialmente los finos, que luego se depositan en áreas profundas. En lugares con poca agitación y corrientes débiles, como áreas con manglares, se acumulan sedimentos limosos y arcillosos. Estas conclusiones se derivan de su estudio geoquímico en las Lagunas Grande del Obispo y Chica, estado Sucre, Venezuela. LÓPEZ (2002) presentó resultados similares para la laguna de Píritu, destacando una predominancia de limos que constituyen hasta el 90,0% de los sedimentos en las zonas media e interna. Explicó que la composición sedimentaria de este ecosistema se ve influenciada por la entrada de grano grueso (arenas) desde la conexión con el mar, así como por los aportes más finos (limos y arcillas) del río Unare.

Estos estudios indican que la distribución textural y granulométrica en la laguna de Unare responde a procesos físicos específicos del ecosistema. Predomina una textura limosa en general, con la excepción de la estación LU1 en la zona suroriental, donde se observa una composición limo-arenosa.

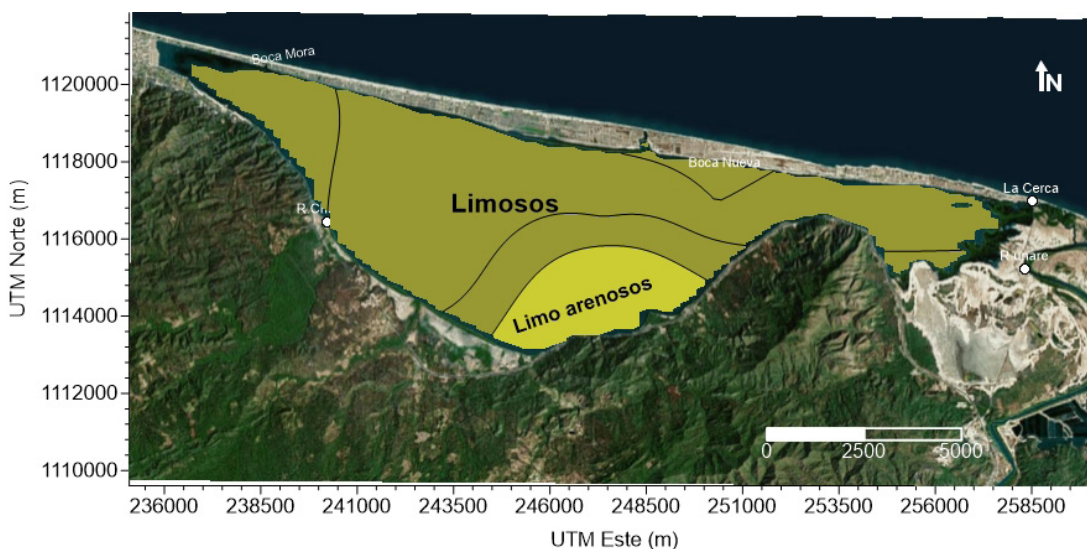


Fig. 2. Distribución textural de los sedimentos superficiales en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

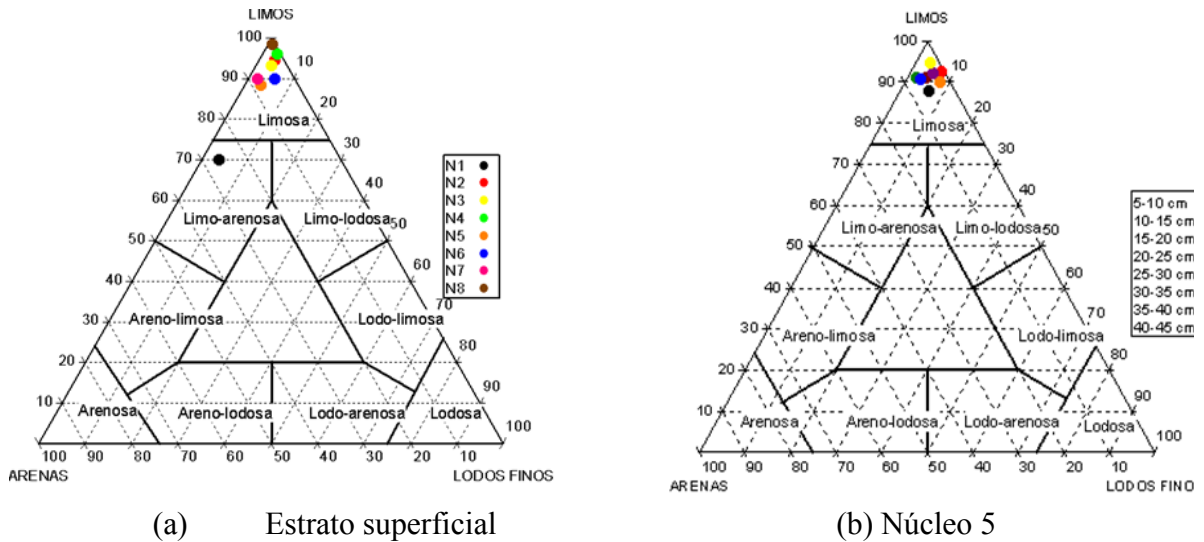


Fig. 3. (a) Clasificación textural para sedimentos superficiales y (b) para sedimentos del núcleo 5 de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela, según SHEPPARD (1954).

Materia orgánica (MOT) y Carbono orgánico total (COT)

El contenido de materia orgánica (MOT) y carbono orgánico total (COT) en el sedimento de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela, se utiliza como indicador de la productividad del ecosistema y del estado trófico del ambiente acuático. Estos parámetros son cruciales para entender la acumulación de biomasa en el fondo de la laguna y su relación con los procesos bióticos y abióticos que ocurren en ella.

El COT en la laguna de Unare varió significativamente entre estaciones, oscilando desde un mínimo de 0,84% en la estación LU8 hasta un máximo de 5,78% en la estación LU1, con un promedio general de 4,16% (Fig. 4). Por otro lado, la MOT presenta valores que van desde 1,95% hasta un máximo de 10,1%, también variando considerablemente entre las diferentes estaciones muestreadas, con un promedio de 7,41%. Ambos parámetros muestran patrones de concentraciones más altas hacia el centro y oeste de la laguna, disminuyendo hacia la región oriental, especialmente en la estación LU8 donde se registra el menor contenido.

La distribución del COT y la MOT en el núcleo sedimentario revela un patrón definido: las concentraciones más altas se localizan en las capas superficiales y disminuyen gradualmente con la profundidad (Fig. 5). Este comportamiento es característico de lagunas costeras, donde la materia orgánica más reciente y lábil se deposita en la superficie antes de ser degradada durante el enterramiento por procesos de oxidación y diagénesis temprana (BURDIGE 2020). En consecuencia, los estratos profundos conservan solo las fracciones más estables. Estudios en ambientes someros describen una dinámica similar, en la que la materia orgánica reactiva se transforma rápidamente y persisten únicamente los compuestos más refractarios en profundidad (ARNDT *et al.* 2013; MIDDELBURG 2019).

La alta concentración de materia orgánica en los sedimentos superficiales de la laguna de Unare se debe principalmente a las condiciones ambientales favorables y a los aportes biogénicos del plancton y desechos orgánicos de organismos vivos presentes en el ecosistema acuático, así como a los aportes del río Unare. Sin embargo, es importante considerar que el crecimiento poblacional acelerado en los alrededores de la laguna puede estar introduciendo materia orgánica de origen antrópico, lo cual podría estar afectando la calidad del agua y de los sedimentos.

Carbonatos

En la laguna de Unare, los niveles de carbonato de calcio (% CaCO₃) varían entre 6,98% y 8,52%, con un promedio de 7,79%, similar a la materia orgánica. Las mayores concentraciones están en las regiones

central y suroccidental (Fig. 6), debido a aportes pluviales y terrígenos de rocas carbonatadas y descargas de ríos y quebradas adyacentes. Aunque se esperaría que un alto contenido de carbonatos se relacione con la presencia de arena (RUBIO *et al.* 1991), los resultados indican que estos sedimentos son de origen autogénico y biogénico calcáreo con deposición bioclástica (MANGONES 2015). Esto se debe a la presencia de partes esqueléticas y conchas de organismos como moluscos, ostrácodos y gasterópodos del género *Bittium*, ampliamente distribuidos en el fondo limoso de la laguna (FERMÍN 2002; RODRÍGUEZ 2004).

Los altos niveles de materia orgánica y carbonatos en la región suroccidental podrían también estar relacionados con macroalgas bentónicas y raíces de mangles, que son hábitat para muchos organismos, principalmente moluscos y equinodermos, contribuyendo significativamente al calcio en el sedimento ROMERO *et al.* (2016). En la estación LU1, el contenido de carbonatos es bajo debido al alto contenido de silicatos y cuarzos.

En cuanto a la distribución vertical, el contenido más bajo de carbonato se encontró en la fracción de 10-15 cm, con un valor de 7,60%, mientras que el porcentaje más alto determinado fue en la sección de los 15-20 cm con un valor de 8,33%. En general, se observó que la variación de carbonato con la profundidad presenta un comportamiento irregular con ligeros aumentos hacia el fondo (Fig. 7). Este comportamiento puede ser debido a los aportes biogénicos y los procesos hidrodinámicos y el intercambio de aguas continentales y marinas que afecta las propiedades fisicoquímicas del agua de la laguna (SANTOS *et al.* 1999).

Comparando los resultados de esta investigación con estudios similares, SENIOR (1994) registró un valor promedio de CaCO_3 de 5,00% en la laguna de Unare. SENIOR *et al.* (1999) reportaron concentraciones de 9,21%, con los valores más bajos cerca de El Hatillo y un aumento progresivo desde Punta Santa hacia la región central y occidental de la laguna. FERMÍN (2002) reportó concentraciones de carbonatos entre 2,33% y 7,88%, con un promedio de 5,61%, mientras que RODRÍGUEZ (2004) informó un promedio de 15,7%, el valor más alto registrado en los últimos 17 años, muy superior a lo encontrado en este estudio.

En otras lagunas de Venezuela, LÓPEZ *et al.* (2006) documentaron concentraciones de carbonatos en la laguna de Píritu con un mínimo de 1,39%, un máximo de 8,59% y un promedio de 4,28%. Por su parte, ROSAS & LÓPEZ (2014) reportaron en la laguna Las Marites contenidos de carbonatos que varían entre 1,00% y 33,0%, con las concentraciones más bajas asociadas a sedimentos finos. Más recientemente, ROMERO *et al.* (2016) informaron de concentraciones superiores al 50% en sedimentos recientes de la laguna La Restinga en la isla de Margarita. Estas últimas son significativamente más altas que las encontradas en este estudio, atribuidas a la abundancia de moluscos y equinodermos que aportan carbonatos de calcio a los sedimentos.

Nitrógeno Total (NT)

Los valores de nitrógeno total (NT) en la laguna de Unare variaron entre $1,03 \times 10^3$ mg/kg y $2,33 \times 10^3$ mg/kg (Fig. 8). Las menores concentraciones se ubicaron hacia los sectores Sur y oriental de la laguna, asociados con los aportes de arenas de los ríos Unare y las quebradas que desembocan en la zona sur, mientras que las mayores se detectaron en las regiones central y occidental, coincidiendo con áreas de mayor contenido de materia orgánica aportadas por las aves (flamencos y garzas) y efluentes domésticos de las comunidades humanas asentadas en la margen occidental de la laguna.

Esta distribución sugiere que el nitrógeno en la laguna sigue un patrón similar al de la materia orgánica y los sedimentos más finos. RODRÍGUEZ (2004) indica que, en el centro y oeste de la laguna, las aguas permanecen más tiempo retenidas, permitiendo una mayor acumulación de nitrógeno. Además, señaló la posible presencia de aguas residuales no tratadas de urbanismos cercanos (Sector El Hatillo) y aportes de los ríos Chávez y Cautaro. BRICKER *et al.* (2008) observaron que, en ecosistemas con tiempos de residencia prolongados, las condiciones de enriquecimiento por nutrientes son mayores.

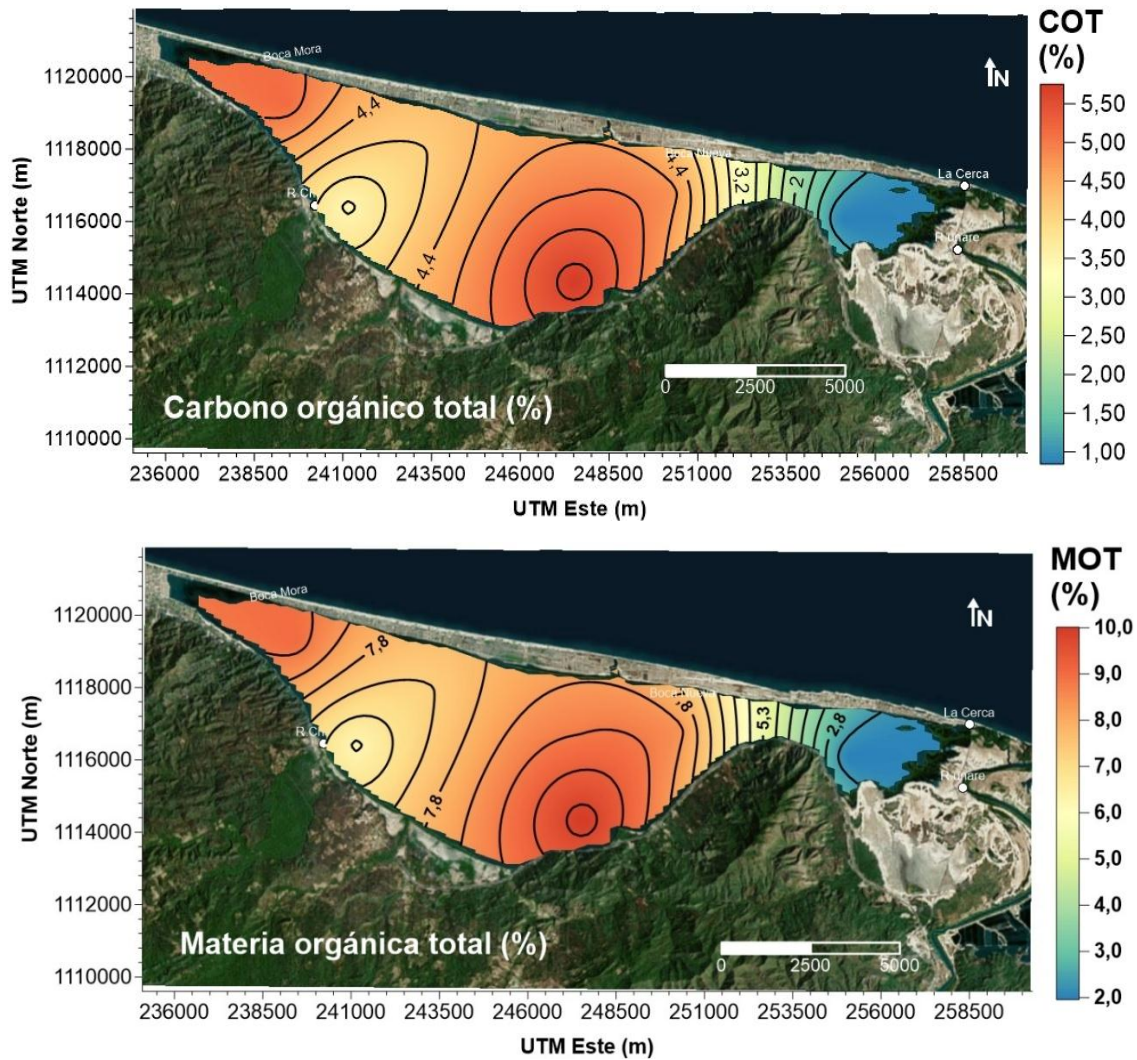


Fig. 4. Distribución espacial del carbono orgánico total (COT) (%) y materia orgánica total en los sedimentos superficiales de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

Los primeros reportes de NT en sedimentos de la laguna de Unare, realizados por OKUDA (1965), mostraron concentraciones promedio de $2,39 \times 10^3$ mg/kg. LONGA & BONILLA (1987) encontraron un promedio de $5,50 \times 10^3$ mg/kg en la interfase agua-sedimento, con un incremento hacia el oeste, correlacionado con una mayor densidad fitoplanctónica, observación también realizada por SENIOR & APARICIO (1992) y SENIOR (1994) en aguas superficiales. FERMÍN (2002) reportó valores entre $3,90 \times 10^3$ y $9,54 \times 10^3$ mg/kg, más altos que los de este estudio. RODRÍGUEZ (2004) encontró concentraciones entre $1,79 \times 10^3$ y $4,35 \times 10^3$ mg/kg, atribuyéndolas a la actividad metabólica del fitoplancton y plantas, y al aporte de aguas domésticas sin tratar.

En la laguna de Píritu, LÓPEZ (2002) reportó concentraciones de NT entre $3,61 \times 10^3$ y

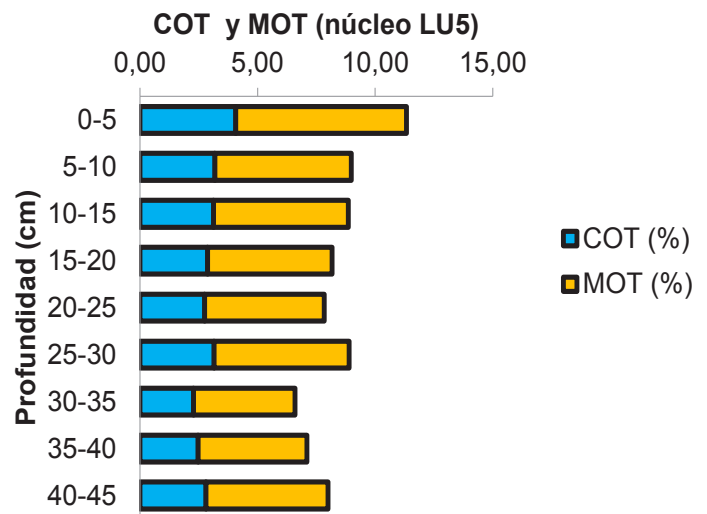


Fig. 5. Variación de los porcentajes de COT (%) y MOT (%) en el núcleo de sedimentos LU5 extraído de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

$7,66 \times 10^3$ mg/kg, influenciadas por el río Unare y una granja camaronera. MÁRQUEZ *et al.* (2007) reportaron en la laguna de Los Patos, Cumaná, un gradiente decreciente de NT desde el sur hasta la boca, sugiriendo que la poca circulación de aguas favorece el incremento de nitrógeno en el sedimento. VELÁSQUEZ *et al.* (2016) encontraron en la laguna La Restinga concentraciones de NT entre 282 mg/kg y $1,57 \times 10^3$ mg/kg, atribuibles a aportes vegetales, excretas de aves y aguas residuales.

Los resultados son comparables a los reportados por FUENTES (2000) en la laguna de Chacopata, con concentraciones promedio de $2,37 \times 10^3$ mg/kg, indicando que el alto contenido de N se debe a su formación *in situ*, con manglares, fanerógamas marinas y macroalgas como principales fuentes de nitrógeno, junto con guano de aves marinas. DE LA LANZA & CÁCERES (1994) sostienen que la vegetación halófila representa el 94% del nitrógeno en algunas lagunas costeras, con el resto aportado por el sistema marino y fluvial, la desecación y difusión del sedimento, la lluvia y aguas servidas (MÁRQUEZ *et al.* 2007).

Fósforo total (PT)

La distribución de fósforo total (PT) muestra concentraciones más bajas hacia el Sur y los máximos hacia el extremo occidental de la laguna de Unare (Fig. 9). El valor mínimo fue de 319 mg/kg en la región centro-sur (estación LU2) y el máximo de 515 mg/kg en la región occidental (estación LU4), la zona menos dinámica. Este patrón coincide con áreas más profundas de la laguna con sedimentos limosos y alta materia orgánica. El promedio de PT fue de 385 mg/kg < 500 mg/kg, el cual es el valor estándar para áreas no impactadas (ZHANG *et al.* 2008; BALLANTINE *et al.* 2009; HURTADO 2015).

La distribución espacial de PT fue similar a la del nitrógeno total (NT), como observaron FUENTES (2000) en la laguna de Chacopata y MÁRQUEZ *et al.* (2007) en la laguna de Los Patos. Las altas concentraciones de PT en el oeste sugieren deposición de fósforo de la descomposición de vegetación (hojas de mangle, fanerógamas marinas, macroalgas), heces de fauna silvestre, y detritos, junto con aportes antrópicos de aguas sin tratar de poblaciones cercanas. FERMÍN (2002) observó un aumento de PT desde El Hatillo hacia el centro y oeste de la laguna, atribuyéndolo a vertidos de aguas servidas y corroborado por RODRÍGUEZ (2004). Las descargas no puntuales contribuyen significativamente al fósforo en lagos y lagunas (REKOLAINEN 1993; BUSSI *et al.* 2021; MARTÍN-HERNÁNDEZ *et al.* 2022. Fuentes antrópicas como efluentes domésticos y agrícolas aumentan la productividad primaria y la eutrofización, mientras que parte del fósforo se acumula en los sedimentos (XU & JAFFÉ 2009; WANG *et al.*, 2009; TAYLOR *et al.* 2016).

En el núcleo de sedimentos (LU5) en la laguna de Unare (Fig. 10), el PT muestra un comportamiento irregular con un máximo de 430 mg/kg a 30-35 cm y un mínimo de 291 mg/kg a 40-45 cm, debido a la rápida reducción de fosfatos en la materia orgánica (RODRÍGUEZ 2004). Las capas superficiales contienen altas concentraciones de fósforo por descomposición de materia orgánica y excreción de organismos acuáticos (DE LA LANZA & CÁCERES 1994).

Comparando con otros estudios, las concentraciones de PT en la laguna de Unare son inferiores a las de MÁRQUEZ *et al.* (2007) en la laguna de Los Patos (951 mg/kg). FUENTES (2000) reportó 580 mg/kg en promedio en Chacopata, superiores a FERMÍN (2002) y RODRÍGUEZ (2004) ambas en Unare (40-90 mg/kg mínimos, 170-180 mg/kg máximos). VELÁSQUEZ *et al.* (2016) reportaron máximos de $2,03 \times 10^3$ mg/kg en La Restinga, atribuidos a restos vegetales y excretos de aves. El fósforo en la laguna de Unare ha aumentado en los últimos años. GUO *et al.* (2010) señalaron que las altas concentraciones reflejan la capacidad de los sedimentos para retener fósforo de fuentes antrópicas, favoreciendo procesos abióticos. En otros ecosistemas orientales, LÓPEZ (2002) reportó en Piritu un mínimo de 70 mg/kg y un máximo de $1,01 \times 10^3$ mg/kg, con promedio de 330 mg/kg, con valores más altos en el centro, mientras que MANGONES (2015) encontró máximos cercanos a 600 mg/kg en la ensenada laguna Chica, caracterizada por manglares y sedimentos finos.

Las concentraciones de materia orgánica y fósforo total determinadas en los sedimentos recientes de la laguna de Unare confirman el carácter altamente productivo de este sistema costero. Los valores de

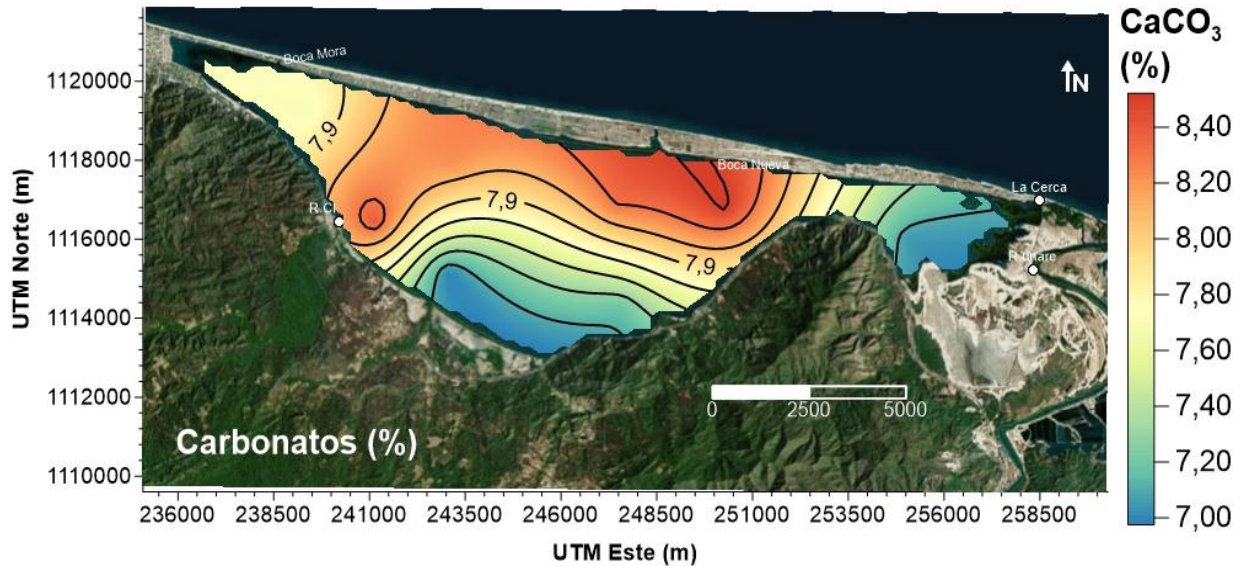


Fig. 6. Distribución del carbonato de calcio (% CaCO₃) en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

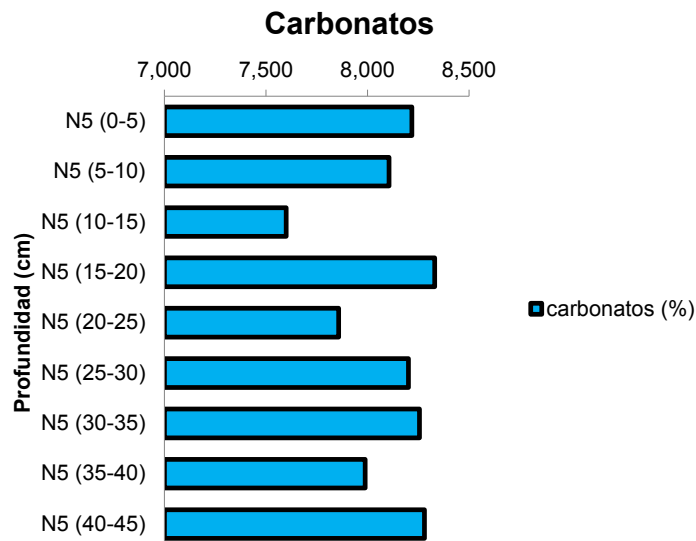


Fig. 7. Variación del contenido de carbonatos (%) en núcleo de sedimentos LU5 extraído de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

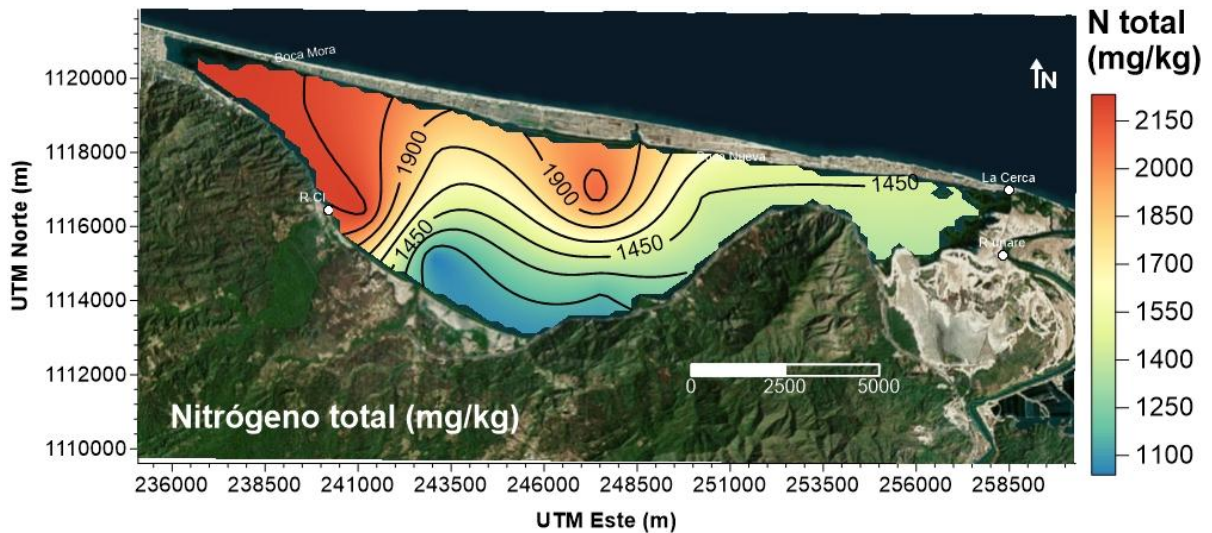


Fig. 8. Distribución del nitrógeno total (N_T) en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

materia orgánica obtenidos en este estudio se ubican dentro del rango previamente reportado para la laguna, lo que sugiere una acumulación sostenida de material orgánico asociada tanto a la elevada productividad primaria como a los aportes continentales. De manera similar, las concentraciones de fósforo total resultan comparables a las documentadas en estudios recientes, evidenciando el papel clave de este nutriente en la dinámica biogeoquímica del sistema (LÓPEZ-HERNÁNDEZ *et al.* 2024). En conjunto, estos resultados indican que, a pesar de las variaciones espaciales observadas, la laguna de Unare mantiene condiciones favorables para la retención de materia orgánica y fósforo en los sedimentos, coherentes con un ambiente eutrófico influenciado por aportes naturales y antrópicos.

Relaciones C/N, C/P, N/P

La composición elemental y las relaciones entre elementos en los sedimentos son indicadores fiables de las fuentes de materia orgánica (MOT) y su evolución temporal, proporcionando información útil durante el periodo de deposición en un ambiente sedimentario específico (SÁNCHEZ 2007). El análisis de nitrógeno, fósforo y la relación C/N permite diferenciar los distintos aportes de MO y deducir aspectos del ambiente de deposición y procesos diagenéticos (FUENTES 2000; ZHOU *et al.* 2018). Se ha observado una relación entre el contenido de COT, NT, PT y la textura fina del sedimento, aunque no existe un criterio único para establecer el origen de la MOT (BRITO *et al.* 2020). En la laguna de Unare, los valores de COT/NT, COT/PO y NT/PT se presentan en la TABLA 3.

Las proporciones elementales de C/N varían según las fuentes y pueden discriminar la procedencia de la MOT de algas y plantas terrestres (LI *et al.* 2016). La proporción C:N para fitoplancton marino es de 6,60 (REDFIELD *et al.* 1963) y en sedimentos marinos frescos varía entre 7,00 y 10,0 (RULLKÖTTER 2006), mientras que en plantas terrestres es mayor de 20,0 (DEEVY 1973). En la laguna de Unare, la relación COT/NT promedió en 27,1, con un mínimo de 6,00 en LU8 y un máximo de 49,7 en LU1. Este cociente sugiere la presencia de material terrígeno pobre en nitrógeno (NASSER 2012) y de origen predominantemente terrestre y rico en celulosa (SÁNCHEZ 2007). Los valores más altos se encontraron al sur de la laguna, mientras que en el centro y otras estaciones la distribución fue heterogénea, indicando una mezcla de fuentes terrestres, fluviales y de productividad primaria fitoplanctónica hacia el oriente (LI *et al.* 2016; GU *et al.* 2017; BRITO *et al.* 2020).

El área de estudio presenta tres agrupaciones de valores COT relacionadas con el origen de la MOT (Fig. 11). La estación LU8 (6) sugiere aportes autóctonos ricos en nitrógeno, pero bajos en carbono; las estaciones LU3 a LU6 (15,4-23,7) presentan altos contenidos en carbono y nitrógeno, ubicadas frente a las descargas del río Chávez y manglares, con posibles vertidos locales; y las estaciones LU1, LU2, y LU7 (49,7, 41,3 y 33,3) muestran elevados contenidos de carbono y concentraciones intermedias de nitrógeno.

El río Unare aporta gran parte del material particulado y disuelto, y su influencia junto con otros ríos y quebradas intermitentes favorece la deposición en zonas de menor energía. La estación LU8 (6) muestra que el COT no tiende a acumularse debido a la influencia del río Unare, con bajo contenido de MOT fácilmente degradable por la alta actividad microbiana. La relación COT : NT en LU8 indica COT producto de la actividad fitoplanctónica *in situ* (BRITO *et al.* 2020).

Diversos autores han planteado diferentes orígenes del COT en los sedimentos. MEYERS (1994) indicó que una relación C/N > 20 se debe a la ausencia de celulosa en algas y su presencia en plantas vasculares, así como a una biodegradación lenta de proteínas. FUENTES (2000) sugirió que un cociente C/N mayor de 10 indica plancton degradado o una mezcla de plancton fresco y restos de plantas vasculares. HEDGES (1992) propuso que un cociente C/N entre 15 y 85 indica materia orgánica vegetal transportada desde el continente. Los valores en la laguna de Unare son comparables con otros estudios regionales y globales (FUENTES 2000; SÁNCHEZ 2007; HURTADO 2015; ZHOU *et al.* 2018; BRITO *et al.* 2020). El enriquecimiento de C y N en el sedimento superficial de la laguna de Unare está relacionado con la transformación del fósforo orgánico y la diagénesis temprana (ZHOU *et al.* 2016, 2018).

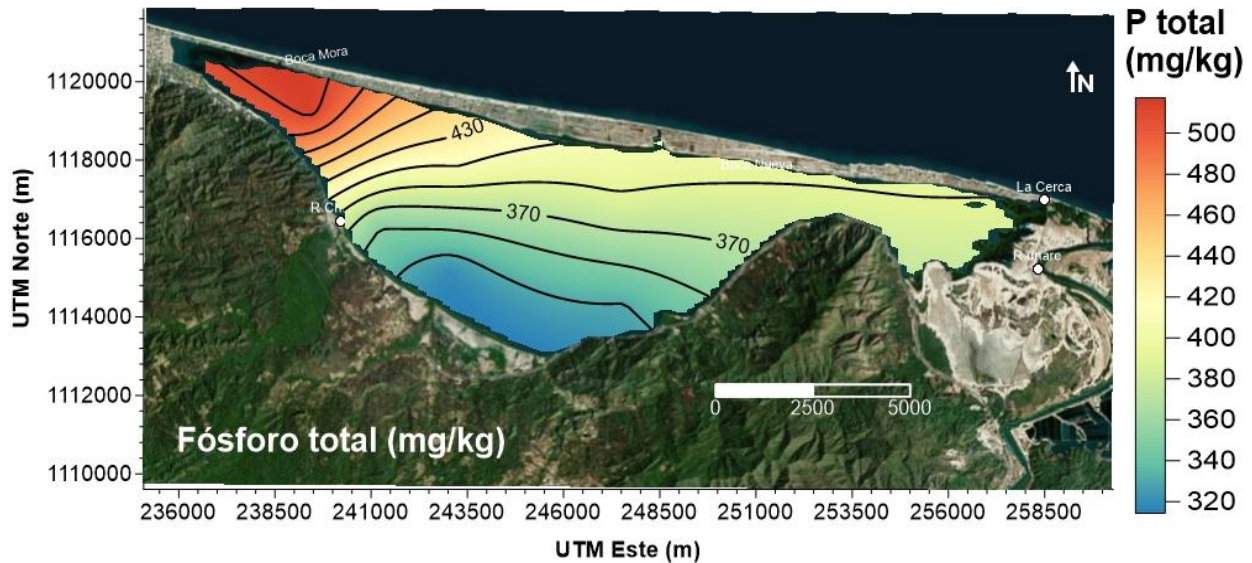


Fig. 9. Distribución del fósforo total (PT) en la laguna de Unare, estado Anzoátegui,

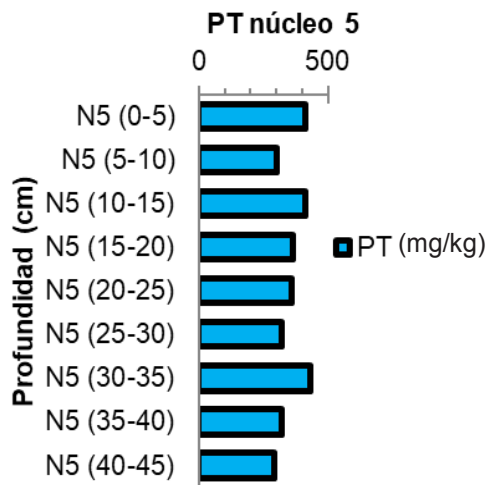


Fig. 10. Variación de las concentraciones de P_T (mg/kg) en un núcleo de sedimentos en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

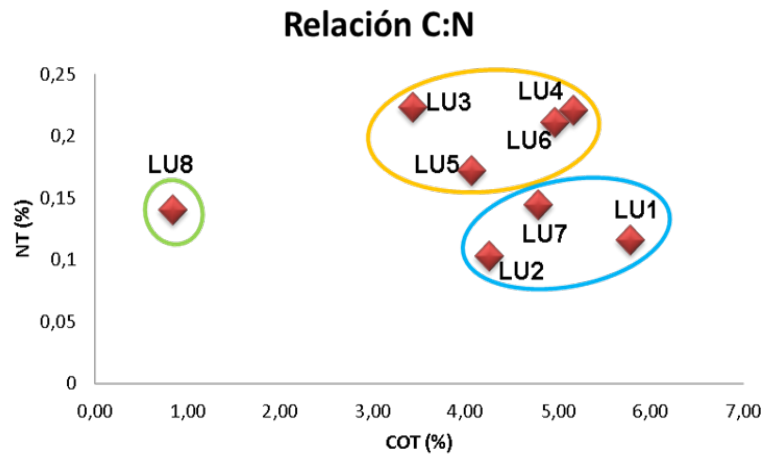


Fig. 11. Relación COT: NT en sedimentos recientes de laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

TABLA 3. Relaciones elementales COT/NT, COT/PO, N_T/P_O en los sedimentos superficiales de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

| Estación | COT/ N_T | COT/ P_O | N_T/P_O |
|-----------------|-------------|------------|-------------|
| LU1 | 49,7 | 327 | 6,57 |
| LU2 | 41,3 | 211 | 5,11 |
| LU3 | 15,4 | 290 | 18,9 |
| LU4 | 23,5 | 135 | 5,77 |
| LU5 | 23,7 | 176 | 7,45 |
| LU6 | 23,5 | 206 | 8,76 |
| LU7 | 33,3 | 220 | 6,62 |
| LU8 | 6,00 | 37,6 | 6,27 |
| PROMEDIO | 27,1 | 201 | 8,18 |

La proporción elemental de materia orgánica en sedimentos puede ofrecer una visión sobre la riqueza de nutrientes del ecosistema. El fósforo disponible para los microorganismos, en relación con el contenido de carbono orgánico total (COT) del sedimento, resalta el impacto significativo de la materia orgánica sobre la disponibilidad de fósforo (RUIZ-FERNÁNDEZ *et al.* 2002). La materia orgánica afecta el intercambio iónico entre diferentes especies y contribuye a la dinámica del fósforo a través de la formación de complejos órgano-fosfatados, que son fácilmente descompuestos por los microorganismos, enriqueciendo así el fósforo disponible.

Normalmente, relaciones de altas de COT:PO (≥ 200) están asociadas con sedimentos deficientes en fósforo, mientras que relaciones bajas (< 100) se encuentran en sustratos bien provistos de fósforo o donde no hay respuesta significativa al fósforo añadido (CONDROU *et al.* 2015). En la laguna de Unare, la relación COT/PO en sedimentos recientes varió entre 37,6 en la estación LU8 y 327 en la estación LU1, con un promedio de 201, superior a la proporción de Redfield C:N:P = 106:16:1, lo que indica sedimentos moderadamente fértiles.

Estudios previos han reportado diversas relaciones COT: PO. Por ejemplo, PÁEZ-OSUNA *et al.* (1992) registraron una relación de 260:1 en sedimentos de una laguna en México, mientras que ZHOU *et al.* (2018) encontraron valores entre 52 a 205 en primavera y 52 a 238 en otoño en el mar de China oriental, sugiriendo un enriquecimiento de carbono y nitrógeno en la superficie debido a la transformación del fósforo orgánico a otras formas.

Los sedimentos que reciben material detrítico de manglares y pastos marinos suelen tener altos valores de C/P y C/N debido a su elevado contenido de carbono orgánico (WAFAR *et al.* 1997; HOLMBOE *et al.* 2001). En Venezuela, MARTÍNEZ (2009) reportó una razón COT/PT promedio de 48,20, con variaciones entre 20,01 y 76,23 en sedimentos superficiales de la región marino-costera al norte y sur de la península de Paria, indicando una distribución heterogénea y asociada a la productividad primaria.

El nitrógeno y el fósforo son nutrientes limitantes que controlan la productividad de los ecosistemas. La relación NT/PO en sedimentos de la laguna de Unare varió entre 5,11 en la estación LU2 y 18,9 en la estación LU3, con un promedio de 8,18. Esta distribución relativamente homogénea, con excepción de la estación LU3, sugiere un enriquecimiento del nitrógeno total (NT) sobre el fósforo orgánico (PO).

En otras lagunas costeras venezolanas, se han encontrado diversas relaciones NT/PT. Por ejemplo, FUENTES *et al.* (1997) reportaron un valor medio de 1,80 en la laguna de Chacopata, mientras que LÓPEZ (2012) encontró valores de 24,3 en la laguna Píritu. MÁRQUEZ *et al.* (2007) reportaron un valor medio de 9,58 en la laguna los Patos, asociado a la descarga de una planta de tratamiento de aguas.

Proteínas

Las concentraciones de proteínas en los sedimentos superficiales de la laguna de Unare se muestran en la Fig. 12. En promedio, se determinó un valor de $1,04 \times 10^4$ mg/kg, con una máxima concentración en la estación LU3 ($1,40 \times 10^4$ mg/kg) y una mínima en la estación LU2 ($6,44 \times 10^3$ mg/kg). Las concentraciones más elevadas se presentaron en la región centro y occidente de la laguna, coincidiendo con la distribución del nitrógeno. OCANDO (1992) señaló que las proteínas en la laguna de Unare provienen principalmente del metabolismo del material planctónico autóctono y de desechos urbanos arrastrados por el río Unare.

Estudios indican que el alto contenido de proteínas totales en los sedimentos está asociado a células grandes de fitoplancton (NELSON *et al.* 1989) y materia orgánica fresca (DANOVARO *et al.* 2000; PÉREZ 2012). PANTOJA *et al.* (2004) indicaron que el material particulado presenta mayor degradación en estratos superficiales, y las proteínas no presentan grandes diferencias en su degradación a distintas profundidades. Factores como la productividad primaria y la tasa de sedimentación influyen en la composición y preservación de los restos orgánicos (GUIÑEZ *et al.* 2010).

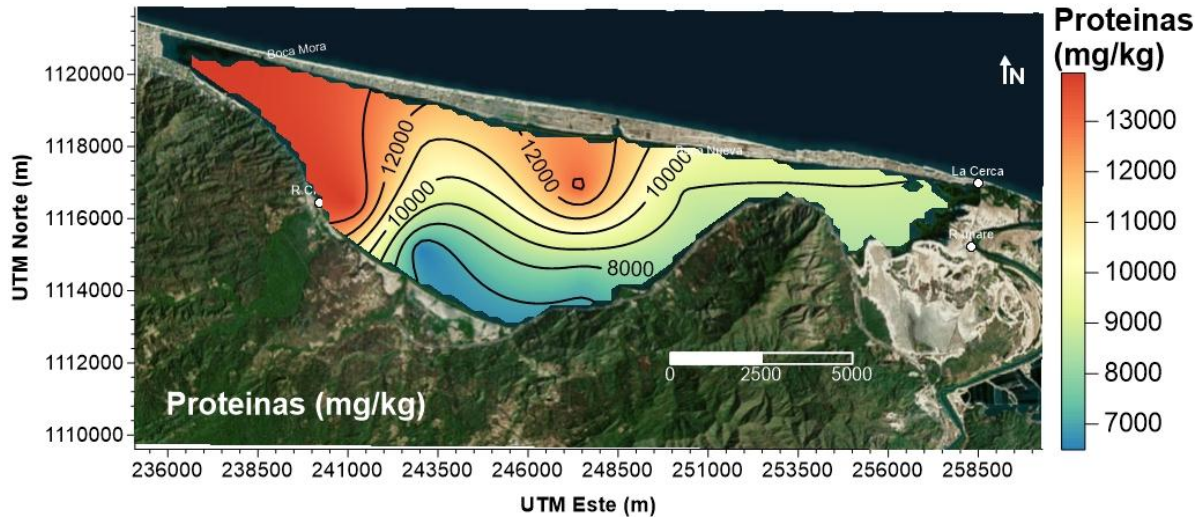


Fig. 12. Distribución de proteínas en sedimentos superficiales recientes en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

Las menores concentraciones de proteínas en el este de la laguna se deben a la inestabilidad y turbidez de las aguas por la descarga del río Unare, contrastando con SENIOR (1994) y FERMÍN (2002). Además, el contenido proteico más bajo en el sur está relacionado con la textura limo-arenosa del sedimento, similar a lo descrito por MANGONES (2015). FERMÍN (2002) reportó en la laguna de Unare una concentración mínima de $2,38 \times 10^3$ mg/kg, máxima de $6,47 \times 10^3$ mg/kg, y un promedio de $4,17 \times 10^3$ mg/kg, evidenciando una elevada actividad biológica. Comparados con otros estudios, como los de LÓPEZ (2002), AGUIAR *et al.* (2013) y MANGONES (2015) y, los valores del presente estudio son significativamente superiores, sugiriendo un enriquecimiento de proteínas en el sedimento de la laguna de Unare.

Carbohidratos

Las concentraciones de carbohidratos totales (CHOT) en los sedimentos de la laguna de Unare mostraron un promedio de $6,65 \times 10^3$ mg/kg, con un mínimo de $1,07 \times 10^3$ mg/kg en la estación LU8 y un máximo de $9,40 \times 10^3$ mg/kg en la estación LU5. En general, el contenido de CHOT es uniforme en toda la laguna (Fig. 13), excepto en la parte oriental donde se encuentran las menores concentraciones, similar al comportamiento del carbono orgánico total (COT) y la materia orgánica total (MOT), debido a la aportación de detritos orgánicos desde la columna de agua y material terrígeno. La alta productividad de

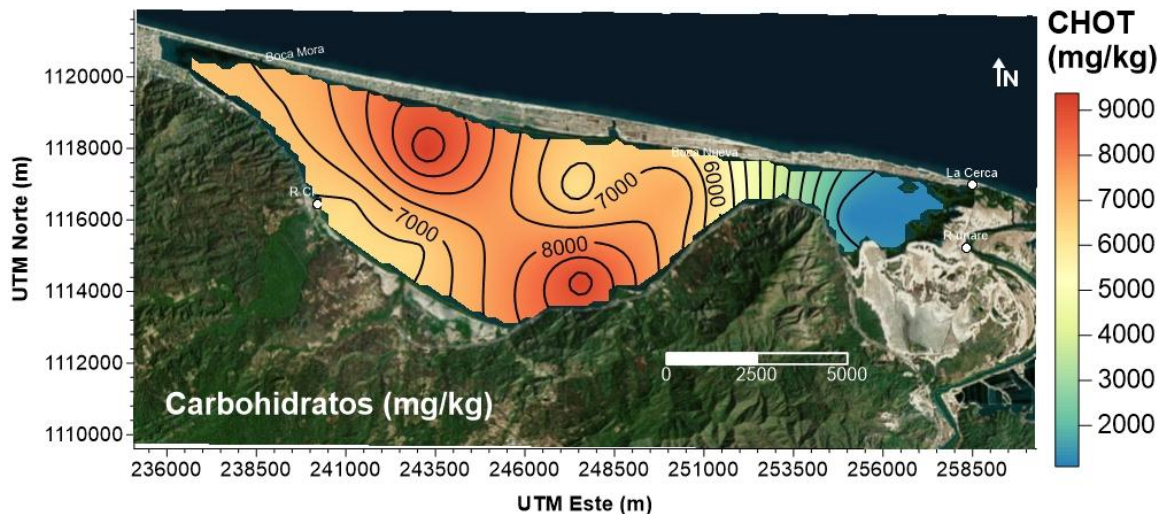


Fig. 13. Distribución de las concentraciones de carbohidratos (mg/kg) en sedimentos superficiales de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

la laguna y la descarga del río Unare, rico en nutrientes, contribuyen a estas elevadas concentraciones de metabolitos (SENIOR 1994; VANEGAS 2015). La degradación de materia orgánica en la laguna es llevada a cabo por microorganismos como bacterias, hongos y algas, fundamentales para el aporte de metabolitos energéticos (BUNN & DAVIES 2000; BLANCO 2018).

Considerando la clasificación de DELL'ANNO *et al.* (2002), la laguna de Unare es eutrófica, dado que sus valores promedio de CHOT son de $6,65 \times 10^3$ mg/kg. FERMÍN (2002) reportó comportamientos similares en la laguna, con un promedio de $4,02 \times 10^3$ mg/kg, indicando un incremento de carbohidratos relacionado con la productividad primaria y aportes externos, como material fluvial y vegetación periférica (PITA 2012). Por otro lado, FUENTES (2001) señaló que los carbohidratos derivados de diversos organismos se acumulan en sedimentos limosos y arcillosos, lo cual concuerda con los hallazgos de este estudio.

LÓPEZ (2002) en la laguna de Píritu reportó concentraciones de 410 mg/kg a $1,61 \times 10^4$ mg/kg, mientras que FUENTES (2001) en la laguna de Chacopata reportó valores de 613 mg/kg a $5,61 \times 10^3$ mg/kg, ambos indicando alta productividad biológica y procesos de eutrofización. En comparación con otros estudios en ambientes costeros, existen reportes con valores variados: PITA (2012) en la laguna el Garzón ($1,11 \times 10^4$ y $1,05 \times 10^4$ mg/kg), PÉREZ (2012) frente al Callao, Perú ($7,38 \times 10^3$ a $8,17 \times 10^3$ mg/kg), AGUIAR *et al.* (2013) en bahía de Guanabara ($7,27 \times 10^3$ mg/kg), y MANGONES (2015) en ensenada Grande del Obispo ($2,14 \times 10^3$ mg/kg), clasificando estos ambientes como meso oligotróficos. PITA (2017) reportó valores entre $1,45 \times 10^3$ y $1,64 \times 10^4$ mg/kg en el margen continental uruguayo, sugiriendo que las descargas continentales aportan material orgánico y nutriente de origen terrestre más recalcitrante a la biodegradación.

Relación PRT: CHOT

Una fracción importante de la materia orgánica sedimentaria son compuestos refractarios como lignina y celulosa, que se degradan lentamente. Los biopolímeros orgánicos (lípidos, proteínas y carbohidratos) son más lábiles y se remineralizan fácilmente (PUSCEDDU *et al.* 2009). Estos componentes lábiles indican el contenido orgánico o estado trófico de los sedimentos (PUSCEDDU *et al.* 2011; PITA 2017). Conocer las condiciones tróficas es fundamental ya que alteraciones pueden modificar las condiciones redox, el metabolismo bentónico y la actividad bioturbadora, afectando el destino final de la materia orgánica en los sedimentos (WAKEHAM & CANUEL 2006).

Las proteínas (PRT) son la fuente más importante de nitrógeno para los organismos heterótrofos, se degradan más rápidamente que los carbohidratos (CHOT) (JOSEPH *et al.* 2008). Valores de la relación PRT:CHOT >1 indican materia orgánica viva o recién generada, mientras que valores <1 indican material detrítico antiguo (CIVIDANES *et al.* 2002). En la laguna de Unare, la relación promedio es 2,32, sugiriendo la presencia de materia orgánica viva o recién generada, con una distribución homogénea excepto en la región oriental (Fig. 14). Esto contrasta con zonas de alta biodisponibilidad de C y N en sedimentos con menor contenido de materia orgánica y mayor régimen hidrodinámico (PUSCEDDU *et al.* 2003).

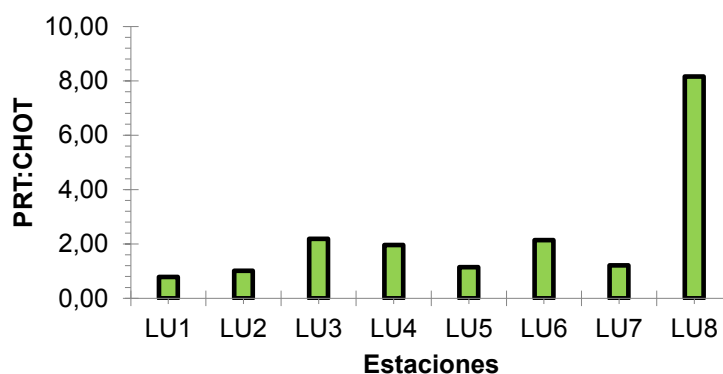


Fig. 14. Distribución de la relación PRT: CHOT en sedimentos recientes de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

Estudios previos en la laguna de Unare muestran dominio de proteínas sobre carbohidratos, caracterizando el ambiente como eutrófico (FERMÍN 2002). En otros ambientes costeros, relaciones PRT:CHOT <1 indican material detrítico viejo y bajo valor nutricional (MANGONES 2015; PITA 2017). Las proteínas se utilizan preferentemente antes que los carbohidratos, siendo una biomolécula potencialmente limitante para la meiofauna presente (NEWELL & FIELD 1983; PÉREZ 2012).

Análisis estadísticos multivariantes

El ACP, el análisis de conglomerados y el MDS proporcionan una visión coherente y complementaria de la composición geoquímica de los sedimentos de la laguna de Unare, destacando la influencia de los aportes antrópicos y naturales en la distribución de los nutrientes y componentes orgánicos.

El análisis de componentes principales (ACP) evidenció que los tres primeros componentes (F1 a F3) explican el 85,62% del total de la varianza, mientras que las componentes F1 y F2 explican el 66,91% de esta variabilidad (TABLA 4 y 5). En la Fig. 15, se observa que las variables geoquímicas MOT, COT, CHOT y la fracción fina de los sedimentos son los que tienen el mayor peso de la varianza en el componente F1 (34,15%), donde se correlacionan positiva y significativamente sugiriendo la entrada y acumulación en la fracción fina de los sedimentos posiblemente de origen biogénico, asociado a la alta productividad existente en la laguna de Unare.

La componente principal F2 contribuye con el 32,76% del total de la varianza explicativa y se encuentra fuertemente correlacionada con los limos, arenas, carbonatos, proteínas, NT y PT, sugiriendo que los nutrientes ingresan al ecosistema de fuentes antrópicas y naturales, como las descargas domésticas de los urbanismos periféricos, el río Unare y deposiciones atmosféricas, indicando una misma fuente de ocurrencia en los sedimentos.

Respecto a las estaciones de muestreo, el ACP muestra que las estaciones ubicadas en el centro y occidente de la laguna de Unare presentan características similares en cuanto al comportamiento

TABLA 4. Porcentaje de varianza y porcentaje de varianza acumulada para el análisis de componentes principales, aplicados a los sedimentos de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % Varianza | 34,15 | 32,76 | 18,70 | 7,16 | 5,09 | 1,365 | 0,763 |
| % Acumulado | 34,15 | 66,91 | 85,62 | 92,78 | 97,87 | 99,24 | 100,0 |

TABLA 5. Valores propios de las diferentes variables en cada componente principal para los sedimentos recientes de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ptotal | 0,466 | -0,613 | -0,444 | -0,284 | -0,360 |
| Pinorg | -0,041 | -0,290 | 0,916 | -0,171 | -0,198 |
| Pbio | 0,400 | -0,361 | -0,804 | -0,149 | -0,198 |
| NT | 0,562 | -0,731 | 0,251 | -0,243 | 0,157 |
| CaCO3 | 0,524 | -0,456 | 0,549 | 0,356 | -0,184 |
| CHOT | 0,735 | 0,490 | 0,203 | 0,165 | -0,307 |
| PROT | 0,562 | -0,731 | 0,251 | -0,243 | 0,157 |
| ARENAS | 0,154 | 0,836 | 0,218 | -0,438 | -0,142 |
| LIMOS | -0,268 | -0,824 | -0,148 | 0,439 | -0,099 |
| LODOS FINOS | 0,868 | -0,032 | -0,085 | 0,021 | 0,442 |
| COT | 0,844 | 0,472 | -0,091 | 0,188 | -0,002 |
| MOT | 0,844 | 0,473 | -0,091 | 0,189 | -0,002 |

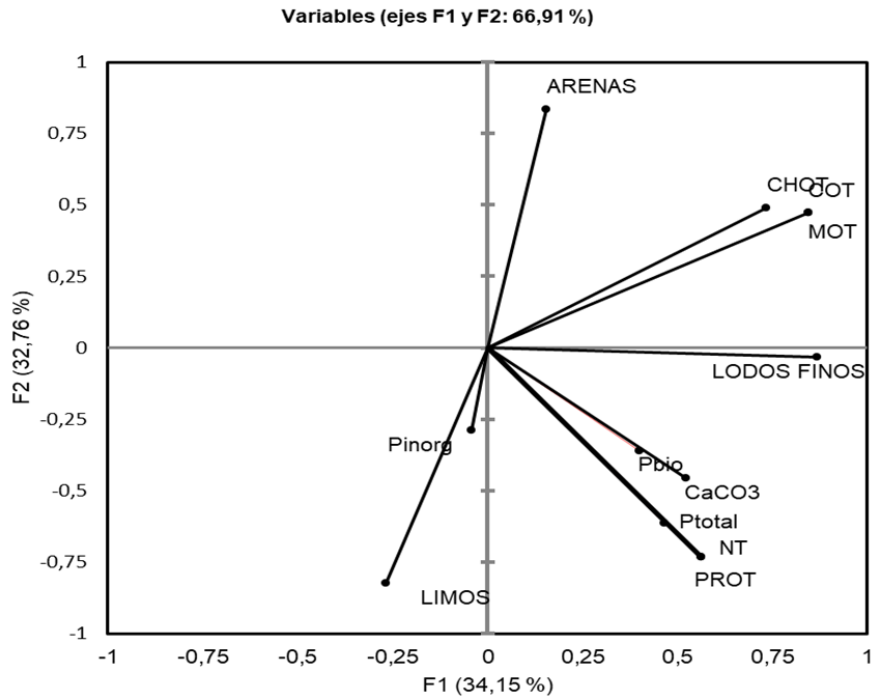


Fig. 15. Análisis de componentes principales de las dos primeras componentes (F1 y F2) tanto para las variables como para las estaciones de los sedimentos recientes de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

geoquímico de las variables evaluadas. En contraste, la estación 1, situada en una zona más profunda y de escasa circulación dentro del ecosistema, y la estación 8, ubicada en la zona oriental y afectada por la descarga del río Unare, presentan comportamientos opuestos.

El análisis de conglomerados, representado en la Fig. 16, distingue dos grupos principales basados en la granulometría del sedimento. El primer grupo relaciona las arenas con dos subgrupos: uno incluye los lodos finos y el carbono orgánico total (COT), y otro agrupa los carbonatos y la materia orgánica total (MOT), sugiriendo una fuente común de transporte. El segundo grupo, conformado por varios subgrupos, relaciona el fósforo y sus fracciones (PI y PO) con los limos, y estos con el nitrógeno y componentes

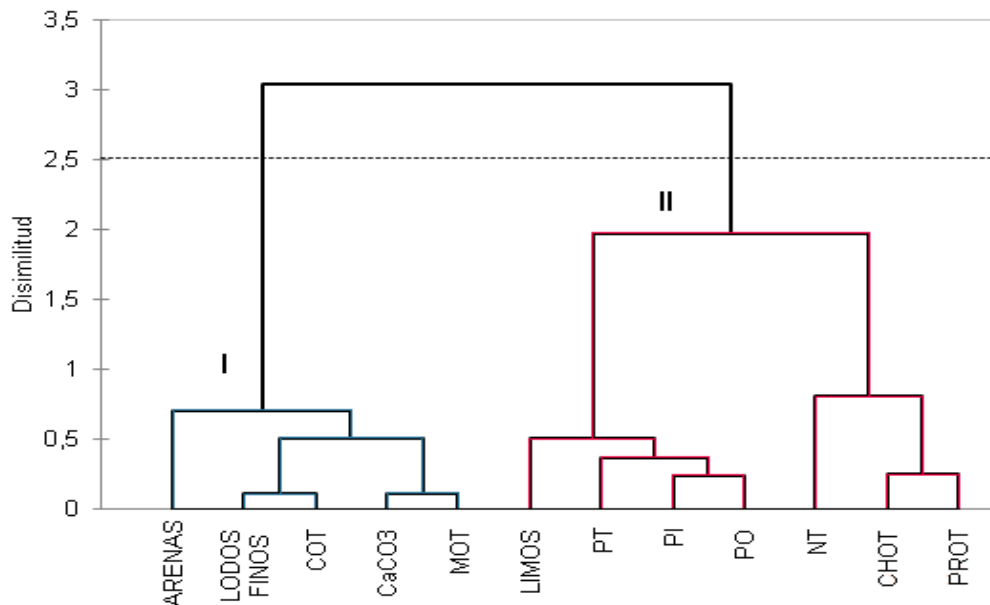


Fig. 16. Dendrograma de similitud entre los parámetros estudiados en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela.

bioquímicos de la materia orgánica (carbohidratos totales [CHOT] y proteínas [PRT]). Este análisis confirma los resultados observados en el ACP y la matriz de correlación de Pearson.

CONCLUSIONES

La fracción granulométrica predominante en la laguna de Unare es limosa, con más del 71% de limos en los sedimentos, excepto una estación que es limo-arenosa. Además, el patrón de distribución del COT y MOT ha mostrado una tendencia creciente en los últimos 20 años desde la zona oriental hacia el área central y occidental de la laguna, favorecido por la topografía, las condiciones ambientales, así como por los aportes de materia orgánica por la actividad antrópica, escorrentías límnicas y productividad primaria. El carbonato de calcio se encuentra asociado con la fracción limosa y los lodos finos, acumulándose en el área central y suroccidental debido a restos calcáreos autóctonos y la meteorización de rocas.

Las concentraciones de fósforo total muestran una distribución homogénea en el cuerpo lagunar, con la mayoría de la reserva de PT en formas orgánicas a nivel superficial. Asimismo, el nitrógeno total presenta un enriquecimiento desde el sector oriental hacia la región centro y occidental, probablemente debido a fuentes de aguas servidas no tratadas y aportes de los ríos Chávez y Cautaro.

El sedimento de la laguna de Unare revela su carácter eutrófico con una concentración promedio de CHOT de $6,65 \times 10^3$ mg/Kg. Los sedimentos se caracterizan por altos contenidos de COT y P y bajas concentraciones de nitrógeno, indicando que la principal fuente de MOT es la vegetación periférica y acuática. Las relaciones elementales sugieren que la materia orgánica es de origen terrestre y muy refractaria.

El contenido de proteínas en los sedimentos superficiales es alto, y la relación PRT: CHOT (2,32) indica la presencia de materia orgánica viva o recién generada. Las correlaciones positivas significativas muestran una fuerte asociación entre la textura fina, nutrientes y la composición bioquímica de la materia orgánica, acumulándose en las fracciones finas de los sedimentos. Finalmente, el análisis estadístico multivariante sugiere una predominancia de la actividad biológica en la laguna, con una posible influencia antrópica, destacando variables importantes como MOT, CHOT, PROT, PT, PO, lodos finos y arenas para futuros estudios.

REFERENCIAS

- AGUIAR, V. M., P. F. ABUCHACRA, & J. A. BAPTISTA NETO. 2013. Biogeochemistry of Jurujuba sound concerning phosphorus dynamics, Rio de Janeiro, Brazil. *J. Coast. Res.* 65: 1–6. <https://doi.org/10.2112/SI65-001.1>.
- ARNDT, S., B. B. JØRGENSEN, D. E. LAROWE, J. J. MIDDELBURG, R. D. PANCOST & P. REGNIER. 2013. Quantifying the Degradation of Organic Matter in Marine Sediments: A Review and Synthesis. *Earth-Sci. Rev.* 123: 53–86. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.008>.
- ARTEM'YEV, V., L. KRAYUSHIN & A. ROMANKEVICH. 1971. Determination of total amount of carbohydrates. *Oceanology* 11(1): 934–936.
- ASPILA, K. I., H. AGEMIAN & A. S. CHAU. 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *The Analyst*, 101(1200): 187-197. <https://doi.org/10.1039/an9760100187>
- BALLANTINE, D.J., D.E. WALLING, A.L. COLLINS, & G.J.L. LEEKS. 2009. The Content and Storage of Phosphorus in Fine-Grained Channel Bed Sediment in Contrasting Lowland Agricultural Catchments in the UK. *Geoderma* 151(3–4): 141–49. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.03.021>.
- BLANCO, D. 2018. *Evaluación de la concentración de metabolitos libre (glucosa y aminoácidos) y su relación con los parámetros fisicoquímicos en las pilas de estabilización de Sutiava. Período marzo-agosto de 2015*. Trab. Grad. Lic. Biología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 64 pp.

- BRICKER, S.B., B. LONGSTAFF, W. DENNISON, A. JONES, K. BOICOURT, C. WICKS & J. WOERNER. 2008. Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries: A Decade of Change. *Harmful Algae* 8(1): 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.028>.
- BRITO, F., G. MARTÍNEZ & A. QUINTERO. 2020. Comportamiento geoquímico del nitrógeno, fósforo y materia orgánica en sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 59(2): 19–33.
- BUNN, S. E. & P. M. DAVIES. 2000. *Biological Processes in Running Waters and Their Implications for the Assessment of Ecological Integrity*. En: *Assessing the ecological integrity of running waters*, Eds. M. Jungwirth, S. Muhar, y S. Schmutz. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4164-2_5.
- BURDIGE, D. J. 2020. *Geochemistry of Marine Sediments*. 2nd ed. Princeton University Press. 624 pp. <https://doi.org/10.2307/j.ctv131bw7s>.
- BUSSI, G., P. G. WHITEHEAD, L. JIN, M. T. TAYE, E. DYER, F. A. HIRPA, Y. A. YIMER & K. J. CHARLES. 2021. Impacts of climate change and population growth on river nutrient loads in a data scarce region: The upper Awash River (Ethiopia). *Sustainability* 13(3): 1254. <https://doi.org/10.3390/su13031254>.
- CARRANZA-EDWARDS, A., L. ROSALES-HOZ, J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, A. SANDOVAL-FORTANEL, E. MORALES DE LA GARZA & R. LOZANO SANTA CRUZ. 2005. Geochemical distribution pattern of sediments in an active continental shelf in southern Mexico. *Cont. Shelf Res.* 25(4): 521–37. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.09.013>.
- CIVIDANES, S., M. INCERA, & J. LÓPEZ. 2002. Temporal variability in the biochemical composition of sedimentary organic matter in an intertidal flat of the Galician coast (NW Spain). *Oceanol. Acta* 25(1): 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(01\)01178-1](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(01)01178-1).
- CONDON, L. M., B. L. TURNER & B. J. CADE-MENUN. 2015. *Chemistry and Dynamics of Soil Organic Phosphorus*. En: *Phosphorus: Agriculture and the Environment*. Eds. T- Sims & A. N. Sharpley. 87–121 p. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr46.c4>.
- CONTRERAS-ESPINOSA, F. & B. G. WARNER. 2004. Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia* 511(1): 233–45. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000014097.74263.54>.
- DANOVARO, R., D. MARRALE, A. DELL'ANNO, N. DELLA CROCE, A. TSELEPIDES & M. FABIANO. 2000. Bacterial response to seasonal changes in labile organic matter composition on the continental shelf and bathyal sediments of the Cretan Sea. *Prog. Oceanogr.* 46(2–4): 345–66. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00025-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00025-2).
- DE LA LANZA, G. & C. CÁCERES. 1994. *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California (Eds.). 497 pp.
- DEEVY, E. 1973. *Sulfur, nitrogen, and carbon in the biosphere*. En: *Carbon and the biosphere*, Eds. G.M. Woodwell & E.V. Peacan. USAEC. 182–190 p.
- DELL'ANNO, A, M. L MEI, A. PUSCEDDU & R. DANOVARO. 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Mar. Poll. Bull.* 44(7): 611–22. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00302-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00302-2).
- FERMÍN, I. 2002. *Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 106 pp.

- FERROL-SCHULTE, D., M. WOLFF, S. FERSE & M. GLASER. 2013. Sustainable livelihoods approach in tropical coastal and marine social–ecological systems: A Review. *Mar. Policy* 42: 253–58. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.03.007>.
- FOLK, R. 1978. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill publishing company. 190 pp.
- FUENTES, M. 2000. Nitrógeno, fósforo y cociente C/N en los sedimentos superficiales de la laguna de Chacopata, Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 48(1): 261–68.
- FUENTES, M. 2001. Estudio geoquímico de carbohidratos, hidrocarburos, aceites y grasas en la Laguna de Chacopata, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 40(1 & 2): 31–37.
- FUENTES, M., J. BONILLA, & J. FERMÍN. 1997. Algunas características químicas de los sedimentos superficiales de la laguna de Chacopata, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 36(1 & 2): 69–79.
- GU, Y., J. OUYANG, J. J. NING & Z. H. WANG. 2017. Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in surface sediments from the largest mariculture zone of the eastern Guangdong Coast, South Chin. *Mar. Poll. Bull.* 120(1–2): 286–91. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.013>.
- GUÍÑEZ, M., J. VALES & A. SIFFEDINE. 2010. Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 38(2): 242–53. <https://doi.org/10.3856/vol38-issue2-fulltext-9>.
- GUO, W., X. LIU, Z. LIU, & G. LI. 2010. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin. *Procedia Environ. Sci.* 2: 729–36. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.084>.
- HARTREE, E. F. 1972. Determination of protein: A modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Anal. Biochem.* 48(2): 422–427. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(72\)90094-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(72)90094-2)
- HEDGES, J. I. 1992. Global biogeochemical cycles: Progress and problems. *Mar. Chem.* 39(1–3): 67–93. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(92\)90096-S](https://doi.org/10.1016/0304-4203(92)90096-S).
- HELING, D., P. ROTHE, U. FÖRSTNER & P. STOFFERS. 2012. *Sediments and environmental geochemistry: Selected aspects and case histories*. Springer Science & Business Media. 312 pp.
- HERNÁNDEZ, D. 2012. *Fraccionamiento del fósforo en sedimentos superficiales del sector oriental del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Venezuela, 73 pp.
- HERRERA-SILVEIRA, J. A. 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotropicos* 19(2): 94–108.
- HOLMBOE, N., E. KRISTENSEN & F.Ø. ANDERSEN. 2001. Anoxic Decomposition in Sediments from a Tropical Mangrove Forest and the Temperate Wadden Sea: Implications of N and P Addition Experiments. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 53(2): 125–40. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0794>.
- HURTADO, R. 2015. *Geoquímica de C, N, P y S en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 146 pp.
- JØRGERSEN, B. 1996. *Material flux in the sediment*. En: *Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems*. Eds. B. Jørgensen & K. Richardson. American Geophysical Union, Washington, 115–135 p.
- JOSEPH, M. M., C. S. RATHEESH KUMAR, T. R. GIREESH KUMAR, K. R. RENJITH & N. CHANDRAMOHANAKUMAR. 2008. Biogeochemistry of surficial sediments in the intertidal systems of a tropical environment. *Chem. Ecol.* 24(4): 247–58. <https://doi.org/10.1080/02757540802119871>.

- LI, Y., H. ZHANG, C. TU, C. FU, Y. XUE & Y. LUO. 2016. Sources and fate of organic carbon and nitrogen from land to ocean: identified by coupling stable isotopes with C/N Ratio. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 181: 114–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.08.024>.
- LONGA, I. & J. BONILLA. 1987. Caracterización química de los sedimentos de la interfase de la laguna de Unare, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 26(1 & 2): 81–89.
- LÓPEZ, F. 2002. *Determinación del contenido de metales en los sedimentos superficiales de la laguna de Píritu, estado Anzoátegui, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela, 117 pp.
- LÓPEZ, F., W. SENIOR, G. MARTÍNEZ, A. MÁRQUEZ & I. FERMÍN. 2006. Fraccionamiento de los metales pesados Fe, Cd, Cr y Pb en los sedimentos superficiales de la Laguna de Píritu, estado Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 45(1): 51–60.
- LÓPEZ, R. 2012. *Fraccionamiento geoquímico de fósforo en sedimentos superficiales del sector central del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Venezuela, 80 pp.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., L. MORALES, K. UMBRÍA-SALINAS, A. VALERO, W. MELENDEZ & A. LÓPEZ-CONTRERAS. 2024. C, N, and P contributions to sediments of two Venezuelan coastal lagoons and their relationships with the adsorption of P. *CLEAN – Soil, Air, Water*: 2300266. <https://doi.org/10.1002/clen.202300266>.
- MANGONES, A. 2015. *Estudio geoquímico de algunos componentes de la materia orgánica en los sedimentos superficiales del sector marino-costero de la Ensenada Grande del Obispo y laguna Chica, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela, 74 pp.
- MARÍN, F. 2020. *Geoquímica de metales pesados y calidad ambiental en sedimentos recientes de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela, 121 pp.
- MÁRQUEZ, A., W. SENIOR, I. FERMÍN, G. MARTÍNEZ, J. CASTAÑEDA & A. GONZÁLEZ. 2008. Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Rev. Cient.* 18(1): 73–86.
- MÁRQUEZ, A., W. SENIOR, G. MARTÍNEZ & A. GONZÁLEZ. 2007. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 46(2): 137–45.
- MARTÍNEZ, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 41(1 y 2): 83–96.
- MARTÍNEZ, M. 2009. *Geoquímica de C, N y P en sedimentos superficiales de la región marino-costera al norte y sur de la península de Paria, estado Sucre*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela, 130 pp.
- MARTÍN-HERNÁNDEZ, E., M. TAIFOURIS, & M. MARTÍN. 2022. Addressing the contribution of agricultural systems to the phosphorus pollution challenge: a multi-dimensional perspective. *Front. Chem. Eng.* 4: 970707. <https://doi.org/10.3389/fceng.2022.970707>.
- MEYERS, P. A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chem. Geol.* 114(3–4): 289–302. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0).
- MIDDELBURG, J. J. 2019. *Marine Carbon Biogeochemistry: A Primer for Earth System Scientists*. Springer Briefs in Earth System Sciences. Springer International Publishing, 118 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-10822-9>.

- MİYAZAWA, M., M. A. PAVAN, E. L. OLIVEIRA, M. DE, IONASHIRO & A. K. SILVA. 2000. Gravimetric determination of soil organic matter. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 43(5): 475-478. <https://doi.org/10.1590/s1516-89132000000500005>
- NASSER, K. 2012. *Estudio de la distribución de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre en los sedimentos de fondo de la cuenca del río Tuy, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. En Química, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Venezuela, 135 pp.
- NELSON, D. M., W. O. SMITH, R. D. MUENCH, L. I. GORDON, C. W. SULLIVAN & D. M. HUSBY. 1989. Particulate matter and nutrient distributions in the ice-edge zone of the Weddell Sea: relationship to hydrography during late summer. *Deep-Sea Res. A* 36 (2): 191–209. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(89\)90133-7](https://doi.org/10.1016/0198-0149(89)90133-7).
- NEWELL, R. C. & J. G. FIELD. 1983. The contribution of bacteria and detritus to carbon and nitrogen flow in a benthic community. *Mar. Biol. Lett.* 4(1): 23–36.
- OCANDO, L. 1992. *Distribución espacial y temporal de los parámetros fisicoquímicos y materia orgánica en la Laguna de Unare, Venezuela, en el período noviembre 1988-julio 1989*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela, 72 pp.
- OKUDA, T. 1965. Consideraciones generales sobre las condiciones ambientales de la Laguna y el Río Unare. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 4(1): 136–54.
- OKUDA, T. & J. BENÍTEZ. 1985. Evaluación comparativa de las condiciones hidroquímicas en el sistema lagunar Tacarigua-Unare-Píritu, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 24(1 & 2): 199–211.
- PÁEZ-OSUNA, F, G. IZAGUIRRE & J. OSUNA. 1992. Carbono y fósforo en sedimentos de un sistema lagunar asociado a una cuenca de drenaje agrícola. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.* 19(1): 1–11.
- PANTOJA, S., J. SEPÚLVEDA & H. E. GONZÁLEZ. 2004. Decomposition of sinking proteinaceous material during fall in the oxygen minimum zone off northern Chile. *Deep-Sea Res. I* 51(1): 55–70. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2003.09.005>.
- PÉREZ, A. 2012. *Composición bioquímica y distribución de la materia orgánica sedimentaria y sus efectos sobre la estructura comunitaria de la meiofauna en la plataforma continental frente a Callao*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias, Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Perú, 187 pp.
- PÉREZ, M., G. MARTÍNEZ & I. FERMÍN. 2006. Metales traza disponibles en sedimentos superficiales de las Lagunas Bocaripo y Chacopata, península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 45(2): 61–91.
- PÉREZ, M., G. MARTÍNEZ, I. FERMÍN, & F. BRITO. 2007. Metales traza en tejidos blandos de *Callinectes ornatus* procedentes de las lagunas costeras Bocaripo y Chacopata (Península de Araya, Estado Sucre). *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 46(2): 175–87.
- PÉREZ, M., G. MARTÍNEZ, G. RODRÍGUEZ, & R. DE LA CRUZ. 2015. Evaluación de las concentraciones de aceites y grasas e hidrocarburos totales en núcleos de sedimentos procedentes del Islote Caribe y el Complejo Lagunar Chacopata-Bocaripo, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 54(1): 3–12.
- PÉREZ-RUZAFÁ, A., A. I. FERNÁNDEZ, C. MARCOS, J. GILABERT, J. I. QUISPE, Y J. A. GARCÍA-CHARTON. 2005. Spatial and temporal variations of hydrological conditions, nutrients and chlorophyll a in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Hydrobiologia* 550(1): 11–27. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-4356-2>.
- PETROVIC, M. & D. BARCELÓ. 2004. Seeking harmonisation in assessing sediments and dredged materials. *TrAC Trends Anal. Chem.* 23(8): x–xii. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.07.004>.

- PITA, A. 2012. *Bioquímica de la materia orgánica y estado trófico de los sedimentos superficiales en ambientes estuarinos de la costa uruguaya*. Trab Grad, Lic. Ciencias Biológicas, Universidad de la República, Uruguay, 44 pp.
- PITA, A. 2017. *Biogeoquímica de la materia orgánica y grupos metabólicos microbianos en sedimentos superficiales del margen continental uruguayo (36°32'-34°38S, 53°30'-51°39'W)*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias, Universidad de la República, Uruguay, 120 pp.
- PUSCEDDU, A., A. DELL'ANNO, R. DANOVARO, E. MANINI, G. SARA, & M. FABIANO. 2003. Enzymatically hydrolyzable protein and carbohydrate sedimentary pools as indicators of the trophic state of detritus sink systems: A Case Study in a Mediterranean Coastal Lagoon. *Estuaries* 26(3): 641–50. <https://doi.org/10.1007/BF02711976>.
- PUSCEDDU, A, A. DELL'ANNO, M. FABIANO & R. DANOVARO. 2009. Quantity and bioavailability of sediment organic matter as signatures of benthic trophic status. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 375: 41–52. <https://doi.org/10.3354/meps07735>.
- PUSCEDDU, A., S. BIANCHELLI, C. GAMBI, & R DANOVARO. 2011. Assessment of benthic trophic status of marine coastal ecosystems: significance of meiofaunal rare taxa. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 93(4): 420–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.05.012>.
- RAMIÃO, J. P., C. PASCOAL, R. PINTO & C. CARVALHO-SANTOS. 2024. Mitigating water pollution in a Portuguese river basin under climate change through agricultural sustainable practices. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 29(4): 25. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10121-9>.
- RAMÍREZ, P. 1996. *Lagunas costeras venezolanas*. Universidad de Oriente, Centro Regional de Investigaciones Ambientales, Venezuela. 144 pp.
- REDFIELD, A. C., B. H. KETCHUM & F. A. RICHARDS. 1963. *The influence of organisms on the composition of seawater*. En: *The Sea*. Ed. Hill, M. N. vol. 2. Interscience Publishers: 26-77.
- REKOLAINEN, S. 1993. *Assessment and mitigation of agricultural water pollution*. Publications of the Water and Environment Research Institute. 12. National Board of Waters and the Environment. 34 pp.
- ROA, P. 1990. La transgresión flamenca y la evolución de la Laguna de Unare, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 29(1 & 2): 11–25.
- RODRÍGUEZ, L. 2004. *Comportamiento y fraccionamiento de metales pesados en núcleos de sedimentos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela, 115 pp.
- RODRÍGUEZ, L., G. MARTÍNEZ & W. SENIOR. 2006. Comportamiento de los metales trazas Cu, Pb, Mn y Zn en fracciones geoquímicas de núcleos de sedimentos de la laguna de Unare, Venezuela. *Rev. Cubana de Investig. Pesqueras*, 24(1): 32–37.
- ROMERO, P., K. MALAVÉ, R. PINTO, O. DÍAZ & M. SEGNINI. 2016. Geoquímica de los sedimentos superficiales de la Laguna La Restinga, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 55(1): 86–92.
- ROSAS, D. & F. LÓPEZ. 2014. Algunos aspectos de la dinámica sedimentaria de la laguna de Las Marites, Estado Nueva Esparta. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 53(1): 86–92.
- RUBIO, R., J. LÓPEZ, & G. RAURET. 1991. La especiación sólida de trazas de metales en sedimentos. Aplicación a sedimentos muy contaminados. *Anal. Quím.* 87: 599–605.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C., C. HILLAIRE-MARCEL, B. GHALEB, M. SOTO-JIMÉNEZ, & F. PÁEZ-OSUNA. 2002. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, Northwestern Mexico:

- Geochemical Evidence from Organic Matter and Nutrients. *Environ. Pollut.* 118(3): 365–77. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00287-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00287-1).
- RULLKÖTTER, J. 2006. *Organic Matter: The Driving Force for Early Diagenesis*. En: *Marine Geochemistry*, Eds. Horst D. Schulz y Matthias Zabel. Springer-Verlag: 125-168. https://doi.org/10.1007/3-540-32144-6_4.
- SALAZAR, J., J. BONILLA & B. GAMBOA. 1986. Metales pesados y materia orgánica en los sedimentos superficiales de la Laguna Las Marites. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 25 (1-2): 137-154.
- SÁNCHEZ, L. 2007. *Caracterización geoquímica de sedimentos marinos del golfo de Cádiz e implicaciones ambientales. Distribución y composición molecular de lípidos y formas refractarias de la materia orgánica*. Trab. Grad. Dr. en Ciencias, Instituto Minero y Geológico de España, Universidad Autónoma de Madrid, España, 245 pp.
- SANTOS, L., J. DE ANDRÉS, J. MARTIN & P. LOUCHOUAM. 1999. Early diagenesis in biogenic carbonates of temperate and shoal waters (Cadiz Bay and Adjacent continental shelf). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 15(1–4): 153–60.
- SCHUMACHER, B.A. 2002. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. Ecological Risk Assessment Support Center, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas. 23 pp
- SENIOR, W. 1994. *Estudio del sistema lagunar Tacarigua-Unare-Píritu*. Proyecto CONICIT PC 074. Instituto Oceanográfico de Venezuela - Universidad de Oriente, Venezuela, 395 pp.
- SENIOR, W. & R. APARICIO. 1992. *Estudio ambiental de las costas del Estado Anzoátegui (Proyecto EACA). Sistema Lagunar Unare- Píritu*. Informe Técnico., Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Venezuela, 132 pp.
- SENIOR, W., J. CASTAÑEDA & G MARTÍNEZ. 1999. *Estudio oceanográfico y calidad de aguas y sedimentos del nororiente de Venezuela: caso del sistema lagunar Unare-Píritu*. Informe Técnico Informe final. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Venezuela, 70 pp.
- SHEPPARD, L. 1954. Nomenclature based on the sand-silt-clay ratios. *J. Sediment. Petrol* 24(3): 151–58.
- SILVA, N. & M. ASTORGA. 2010. Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos superficiales de la zona Puerto Montt a Boca del Guafo (Norpatagonia chilena). *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 38(1): 1–14. <https://doi.org/10.3856/vol38-issue1-fulltext-1>.
- SOTO-JIMÉNEZ, M., F. PÁEZ-OSUNA & A. C. RUIZ-FERNÁNDEZ. 2003. Geochemical evidences of the anthropogenic alteration of trace metal composition of the sediments of Chiricahueto marsh (SE Gulf of California). *Environ. Poll.* 125(3), 423–432. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00083-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00083-6)
- TAVARES, D. C., D. L. GUADAGNIN, J. F. DE MOURA, S. SICILIANO & A. MERICO. 2015. Environmental and anthropogenic factors structuring water bird habitats of tropical coastal lagoons: Implications for Management. *Biol. Conserv.* 186: 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.02.027>.
- TAYLOR, S. D., YI HE, & K. M. HISCOCK. 2016. Modelling the impacts of agricultural management practices on river water quality in eastern England. *J. Environ. Manag.* 180: 147–63. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.002>.
- TOSIANI, T., C. YANES & A. RAMÍREZ. 2005. *Sedimentos recientes frente al delta del Orinoco, Venezuela*. En: *Frente Atlántico Venezolano*. Eds. M. Gómez, M. Capaldo, C. Yanes & A. Martín. Petróleos de Venezuela, S.A. II. Investigaciones Geoambientales: Ciencias de la Tierra. (PDVSA) –Fondo Editorial Fundambiente: 53-61.

- VALERO, A. 2016. *Estudio de Cu, Fe, Mn, Ni, Zn en la fracción limo-arcilla de los sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu, estado Anzoátegui*. Trab. Grad. Lic. Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Venezuela, 128 pp.
- VANEGAS, E. 2015. Evaluación de la concentración de proteína y metabolitos libres en el río estero real y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en el periodo noviembre 2013 - abril 2014". Trab. Grad. Lic. Biología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua. 83 pp.
- VÁSQUEZ, A., M. GONZÁLEZ, O. DÍAZ, & I. LIÑERO. 2010. Variación temporal de la meiofauna en sedimentos del sistema lagunar 'Laguna de Raya', estado Nueva Esparta, Venezuela. *Interciencia* 35(2): 144–50.
- VELÁSQUEZ, J., A. MÁRQUEZ, I. FERMÍN, F. LÓPEZ, D. HERNÁNDEZ, & W. SENIOR. 2016. Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 55(1): 54–68.
- VILLALBA, W., B. MÁRQUEZ, L. TROCCOLO-GHINAGLIA, M. ALZOLAR, & J. LÓPEZ. 2017. Composición y abundancia del zooplancton en la laguna El Morro, Isla de Margarita, Venezuela. *Rev. Peru. Biol.* 24(4): 343–56.
- WAFAR, S., A.G. UNTAWALE, & M. WAFAR. 1997. Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 44(1): 111–24. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0152>.
- WAKEHAM, S. G. & E. A. CANUEL. 2006. *Degradation and Preservation of Organic Matter in Marine Sediments*. En: *Marine organic matter: Biomarkers, Isotopes and DNA*, Ed. John K. Volkman, vol. 2N. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/698_2_009.
- WALTON, H. 1970. *Principios y métodos de análisis químico*. Reverté Mexicana. 225 pp.
- WANG, P., M. HE, C. LIN, B. MEN, R. LIU, X. QUAN & X. QUAN. 2009. Phosphorus distribution in the estuarine sediments of the Daliao River, China. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 84(2): 246–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.06.020>.
- XU, Y. & R. JAFFÉ. 2009. Geochemical record of anthropogenic impacts on Lake Valencia, Venezuela. *Appl. Geochem.* 24(3): 411–18. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.12.002>.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., J. W. DAY, P. SÁNCHEZ-GIL, J. N. DAY, R. N. LANE, D. ZÁRATE-LOMELÍ, H. A. VÁSQUEZ, J. L. ROJAS-GALAVIS & J. RAMÍREZ-GORDILLO. 2014. Ecosystem functioning: the basis for restoration and management of a tropical coastal lagoon, Pacific coast of Mexico. *Ecol. Eng.* 65: 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.03.007>.
- ZHANG, R., F. WU, C. LIU, P. FU, W. LI, L. WANG, H. LIAO & J. GUAO. 2008. Characteristics of organic phosphorus fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and southwestern plateau, China. *Environ. Poll.* 152(2): 366–72. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.024>.
- ZHOU, F., X. GAO, H. YUAN, J. SONG, C. T. A. CHEN, H. K. LUI & Y. ZHAN. 2016. Geochemical forms and seasonal variations of phosphorus in surface sediments of the east China Sea Shelf. *J. Mar. Syst.* 159: 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.03.005>.
- ZHOU, F., X. GAO, H. YUAN, J. SONG & F. CHEN. 2018. The distribution and seasonal variations of sedimentary organic matter in the east China Sea Shelf. *Mar. Poll. Bull.* 129(1): 163–71. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.009>.

Recibido: Septiembre 2024

Aceptado: Enero 2025