

CONTENIDO ORGÁNICO Y PARÁMETROS REDUCTORES DE SEDIMENTOS DEL ARCHIPIÉLAGO LOS ROQUES, VENEZUELA

J. BONILLA¹, J. MOYA² & A. QUINTERO¹

¹*Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumana, Venezuela*
Jbonilla@sucre.udo.edu.ve

²*Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias, Cumana, Venezuela*

RESUMEN: Geomorfológicamente la región de estudio la componen un conjunto de islas que conforman el Archipiélago Los Roques, donde los sedimentos superficiales geológicamente son arenas calcareníticas de origen biogénico, predominando los granos esqueléticos bioclásticos dentro de la textura arena granulométricamente compuesta de dolomías arenosas gruesas a finas. Se cuantifica químicamente la materia orgánica (C-Org.; N-Org.; razón C/N; MOT; Carbohidratos; Aceites y Grasas (A y G); CaCO₃), los parámetros reductores (Cons. O₂, DQO) y la permeabilidad en sedimentos de 16 estaciones. Se usaron procedimientos analíticos clásicos de la geoquímica marina. En general, el contenido orgánico es bajo, en estos sedimentos, y variables en C-org. (0,296 a 0,790%; X=0,459%); N-org. (0,031 a 0,070%; X=0,031 a 0,070%; X=0,048%), con una razón C/N (6,6 a 13,4; X=9,5) que indica tendencia al equilibrio entre el material fresco depositado y la incidencia abiótica. NT (5,77 a 11,05%; X=8,84%); MOT (2,52 a 12,41%; X=7,08%), PT (0,30 a 3,52%; X=1,90%); Carbohidratos (1,53 a 4,51 mg/g; X=2,88 mg/g); Hidrocarburos (0,018 a 1,79 mg/g; X=0,065 mg/g); A y G (0,069 a 0,306 mg/g; X=0,146 mg/g), se determinó que la calcita (CaCO₃) es de alto contenido (97,97 a 99,80%; X=99,02%), de incidencia cálcica de granos marinos y terrígenos, prevaleciendo los esqueléticos bioclásticos. Similar característica con bajos contenidos presentaron los parámetros reductores: Cons. de O₂ (16,64 a 46,21 ppm; X=35,80 ppm); DQO (5,31 a 17,38 mg/g; X=11,18 mg/g) y con alta permeabilidad (H₂O: 20,08 a 30,26%; X=24,54%), y el ion Cloruro señala escasa o nula interferencia (1,91 a 7,74 mg/g; X=5,65 mg/g), indicando que en este ecosistema los sedimentos de textura arenosa son permeables, de buena calidad ambiental y con tendencia a la fertilidad orgánica, de bajo o nulo índice reductor, como una característica de la hidrogeodinámica que los tipifica.

Palabras claves: contenido orgánico, parámetros reductores, sedimentos calcareníticas.

ABSTRACT: The region under study geomorphologically comprises a cluster of islands known as Roques Archipelago. Geologically, its superficial sediments are calcarenitic sands of biogenic origin whose prevailing grains are skeletal bioclasts set within a sandy texture granulometrically composed of coarse-to-fine sandy dolomites. Classic marine geochemistry assays were used in order to chemically quantify the organic content of the sediments, (Org.- C; Org.- N; C/N ratio; TOM; Carbohydrates; Oils and Fats (O & F); CaCO₃), the reducing parameters (O₂ consumption, COD), and sediment permeability in 16 survey stations. Overall, the organic content of these sediments was found to be low though variable in Organic - C (0.296 to 0.790%; X=0.459%); Organic - N (0.031 to 0.070%; X=0.048%), with a C/N ratio of (6.6 to 13.4; X=9.5) which indicates a tendency to equilibrium between the freshly deposited material and the abiotic incidence. TN (5.77 to 11.05%; X=8.84%); TOM (2.52 to 12.41%; X=7.08%), TP (0.30 to 3.52%; X=1.90%); Carbohydrates (1.53 to 4.51 mg/g; X=2.88 mg/g); hydrocarbons (0.018 to 0.179 mg/g; X=0.065 mg/g); O & F (0.69 to 0.306 mg/g; X=0.146 mg/g). Calcite (CaCO₃) was found to be of high content (97.97 to 99.80%; X= 99.02%), bearing a calcic incidence of marine and terrigenous grains with a prevalence of bioclastic skeletons. The reducing parameters showed similar characteristics and low contents: O₂ consumption (16.64 to 46.21 ppm; X=35.80 ppm); COD (5.31 to 17.38 mg/g; X=11.18 mg/g), and high permeability (H₂O: 20.08 to 30.26%; X=24.54%). The chloride ion revealed scant or null interference (1.91 to 7.74 mg/g; X=5.65 mg/g), thus indicating that sandy sediments here are permeable, of good environmental quality, and have a tendency towards organic fertility of low or null reducing index, characteristic of the hydrogeodynamics that typifies them.

Key words: Organic content, Reducers Parameters, Calcarenitics Sediments

INTRODUCCIÓN

El equilibrio hidrobiogeocológico y los aspectos hidrogeodinámicos y socioeconómicos son características que regulan los bioecosistemas costeros, que se encuentran ubicados en el cordón litoral y en la

plataforma continental de mares y océanos, dentro del contexto de la condición ambiental y la calidad de las masas de agua y sedimentos. Hoy día en la era moderna, se pueden considerar a los ecosistemas desde el punto de vista científico y ambiental que pueden estar

fuertemente afectados, debido a la influencia del impacto ocasionado por el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial, tecnológico, que trae como consecuencia el incremento antrópico. Contaminando significativamente el litoral costero y los ecosistemas asentados en él, así como las islas y cayos que conforman las dependencias federales en el contexto del mar Caribe Venezolano. De tal forma que las investigaciones hidrobiogeoquímicas en las masas de agua y sedimentos costeros de mares y océanos, han demostrado su condición y calidad ambiental, así como su fertilidad biológica y orgánica que es superior, si se comparan con mar afuera, indicando la intensa actividad biótica y abiótica, ampliamente influenciadas por la fertilidad natural que se asocia a los eventos de surgencia costera (GÓMEZ 1996; BONILLA *et al.*, 1998), aunado al drenaje exógeno de origen antrópico. Así como a los efectos de la hidrodinámica y geodinámica costera (BONILLA 1993; BONILLA *et al.*, 1995, 1998)

Geoquímicamente se considera a la materia orgánica en los sedimentos marinos como la fuente energética primaria y esta al igual que la materia inorgánica tiene un relevante Rol en la calidad y condición ambiental de un ecosistema, siendo de gran importancia científica, tecnológica y económica actual y futura (BONILLA & LIN 1979; BONILLA 1982).

También, la materia inorgánica en sedimentos costeros está caracterizada por el contenido de metales trazas esenciales y tóxicos que son bioacumuladas en ellos, como en los organismos marinos en forma incontrolable dependiendo del origen del influjo antrópico, regulado por la hidrogeodinámica del ecosistema bajo estudio (GAMBOA & BONILLA 1983; GAMBOA *et al.*, 1986; BONILLA 1993; BONILLA *et al.*, 1995; MARTÍNEZ 1996).

Hasta el presente se desconoce el comportamiento hidrogeoquímico del ecosistema Archipiélago Los Roques a pesar de ser geológicamente el rasgo fisiográfico más interesante, es el menos conocido del cordón insular marino oceánico que forma parte de las dependencias federales de Venezuela (LIDZ *et al.*, 1969). Siendo un complejo arrecifal de islas y cayos convertido en parque nacional según decreto ejecutivo N° 1061 del 8 de agosto de 1972, predominando texturalmente los sedimentos de arenas blancas calcareníticas y bioclásticas, constituyéndose en un bioecosistema de gran interés

científico, socioeconómico y recreacional por ser una de las áreas consideradas como laboratorios naturales, de incomparable paisajes autóctonos de belleza escénicas naturales con ricas fauna y flora y de elevada producción biológica.

El Archipiélago se caracteriza por tener altas temperaturas e insolación constante durante todo el año, con media a la sombra de 28°C. De escasa precipitación de marzo a junio con un promedio de 18 mm y el resto del año entre 18 y 79 mm. Los vientos alisios prevalecientes son del E, E-NE y E-SE con velocidad media de 24 km/h, con una humedad relativa de un 80% anual. Según GONZÁLEZ (1989) las aguas alrededor del cayo Dos Mosquises, al sur-oeste del Archipiélago Los Roques son de carácter altamente oligotrófico, típicas de arrecifes coralinos.

Dentro del contexto oceanográfico, las investigaciones del control ambiental y calidad del medio acuoso y sedimentario son de vital importancia para mantener una condición hidrobiogeoquímica y ecológica ideal, por tal razón en esta investigación se cuantifica el contenido orgánico y de parámetros reductores en los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques, para cuantificar la fertilidad orgánica y tener un control de la calidad de los sedimentos; que enriquecerá la base de datos necesarios para la interpretación de otras investigaciones de esta región de alta producción pesquera.

ÁREA DE ESTUDIO

La región estudiada, el Archipiélago Los Roques (Fig. 1), se encuentra en el mar Caribe con una superficie de 225153 hectáreas y un área de 800 km², constituido por un conjunto de islas, cayos, extensos arrecifes de corales vivos y bancos de arena dispuestos en forma de óvalo irregular (36 km de Oeste–Este y 26,6 km de Norte–Sur) y en su parte central se forma una laguna salobre de profundidad media de 5 m. Esta región insular forma parte de las Dependencias Federales de Venezuela, que están situadas a 168 km de Caracas (Costa central de Venezuela), estando localizado geográficamente, meridionalmente al Norte de las Costas venezolanas entre 11° 44' 26'' a 11° 58' 36'' Lat. N y de los 66° 36' 25'' a 66° 57' 26'' Long. W. Por el Este al Archipiélago lo separa un canal de 1200 m de profundidad de la Isla Orchila; al Oeste está

separado de las Islas Las Aves de Barlovento y Sotavento por un canal de 1300 m de profundidad. Geológicamente el Parque Nacional Archipiélago Los Roques, está rodeado por un marco fisiográfico formado por las cuencas Los Roques de 20000 km² y 5000 m de profundidad, Bonaire de 10000 km² y 2000 m de profundidad y Cariaco de 6400 km² y 1400 m de profundidad (LIDZ *et al.*, 1969).

Este Archipiélago genera para Venezuela un mar territorial hasta el límite de 12 millas, donde se ejerce plena soberanía Nacional. También, este cordón Insular constituye el límite de las 200 millas generando una zona de economía exclusiva y submarina de aproximadamente 650 km² llamado mar patrimonial. Su principal Isla es el Gran Roque, acantilado rocoso donde emerge una meseta ígneo metamórfica, que desciende hasta 1300 m de profundidad, con una población fija de 600 habitantes residentes en El Gran Roque, que se incrementa temporalmente a 900 con los pescadores margariteños, asentados en las islas San Fernando y en los islotes y cayos.

Ecológicamente en el Archipiélago los Roque predomina las formaciones arrecifales de barrera y praderas de fanerógamas, fauna de peces coralinos y es una región ideal para el cultivo de langostas, en gran escala. En este Archipiélago existe variedad de biotopos típicos de áreas del litoral costero: playas de arena, formaciones coralinas, lagunas de aguas salada y salobres. Granulométricamente los sedimentos del Archipiélago Los Roques están tipificados por ser arenas calcáreas provenientes de la meteorización y desmembramiento de corales, así como bioclásticos de restos de fauna y flora marina.

En el pasado la más importante actividad aparte de la pesca, fue la explotación de guano y sal de las salineras. Hoy día además de la explotación de los recursos naturales del archipiélago, el más pujante auge lo constituye el turismo Nacional e Internacional.

MUESTREO Y MÉTODOS

Los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques, fueron captados con una draga Diez Laffont de 0,02 m² de área y mediante buceo autónomo en 16 estaciones (Fig. 1), durante el crucero oceanográfico hidrobiogeoquímico a bordo del buque Guaiquerí II del

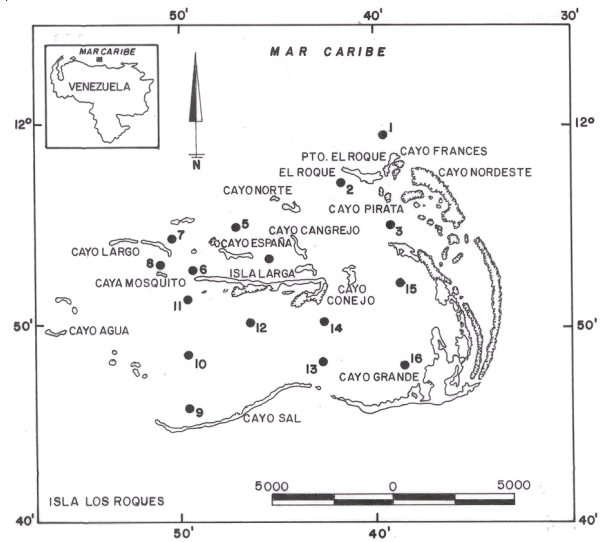


Figura 1.- Mapa del Archipiélago Los Roques indicando las estaciones de recolección de las muestras de sedimentos y la situación relativa.

Instituto Oceanográfico de Venezuela de la Universidad de Oriente, en febrero de 1980.

El material sedimentario se preservó refrigerado hasta su análisis, en el laboratorio de geoquímica marina, se secó por liofilización por 72 horas a -50°C, en un liofilizador Virtis-Unitrap, modelo 10-100 se pulverizó mecánicamente en un mortero eléctrico Fisher.

ANÁLISIS GEOQUÍMICO:

Materia orgánica total (MOT): se determinó mediante el método de mineralización total, por calcinación a la temperatura de 550°C ± 50°C y el porcentaje se calcula por pérdida de masa (BONILLA 1977)

Carbono orgánico (C-org.): se cuantificó mediante el método de combustión húmeda, con ácido sulfocrómico 0,4N como agente oxidante corrigiéndose la interferencia causada por los cloruros, (OKUDA 1964).

Nitrógeno orgánico (N-org.): Se analizó mediante el método semimicro Kjeldalh (BONILLA & LIN 1979).

Razón C/N: Se cuantifica por el cociente entre la concentración del C-org. y el N-org. siendo un valor de 10 el equilibrio para sedimentos marinos.

Nitrógeno y fósforo total (NT y PT): Se determina por el método de oxidación simultánea de VALDERRAMA (1981). Aceites-grasas e hidrocarburos: Se obtienen mediante la técnica de CARIPOL (1980).

Carbohidratos: Los azúcares totales y solubles se cuantifican por el método espectrofotométrico del fenol-sulfúrico (GERCHAKOV & HATCHER 1972), según BONILLA & LIN (1979).

Carbonato de calcio (CaCO_3): Se determinó por pérdida de masa tratando la muestra de sedimento con HCl 6 mol/l, hasta que no presente más efervescencia por pérdida de CO_2 (BONILLA & GONZÁLEZ 1992).

Consumo de oxígeno: Mediante el método de Winkler, (CARPENTER & CARRIT 1966), según BONILLA & LIN 1979.

Demanda química de oxígeno (DQO): Se determinó por el método descrito para aguas en APWA-AWWA-WPCF (1992), adaptado al sedimento por Bonilla, según guía de práctica analítica de DQO (BONILLA & MÁRQUEZ, com. pers).

Permeabilidad: Se cuantificó el grado de permeabilidad del sedimento por liofilización, secando los sedimentos frescos a -50°C durante 72 h (BONILLA & GONZÁLEZ 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MATERIA ORGÁNICA:

Las condiciones hidrogeoquímicas, que caracterizan al ecosistema Archipiélago Los Roques influye marcadamente en el tipo, contenido y evolución de los materiales orgánicos e inorgánicos que se encuentran presentes en los sedimentos.

La geodinámica tipificada por la geomorfología, textura y tipo de grano sedimentarios, marca un determinante Rol en el contenido y evolución de la materia orgánica que puede prevalecer en los sedimentos como indicador de la fertilidad orgánica de los mismos.

Es de conocimiento científico que la fuente energética primaria de los sistemas sedimentarios de mares y océanos la constituye la materia orgánica de orígenes de diversas

fuentes naturales y exógenas antrópogenicas, donde los mecanismos bióticos y abióticos, inciden y controlan los cambios diagenéticos, que conllevan a una transformación biogeoquímica y geoecológica del sedimento (BONILLA 1993; BONILLA *et al.*, 1995; ARANDA 1999).

En general, los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques, se caracterizan por estar (de origen bioclásticos, calcareníticos) granulométricamente constituido por arenas de color blanco (CaCO_3 entre 99,97 a 99,80%, Tabla 3) con influencias de granos finos arcillas-limosas, con restos de conchas y posiblemente algas calcareníticas del tipo *Halimeda* sp .

La evolución espacio temporal de las diferentes especies químicas orgánicas se reseñan gráficamente en las Figs. 2 a 13 y Tablas 1 y 2.

Carbono Orgánico:

El C-org., especie química más representativa de la materia orgánica, puede dar una idea del índice de fertilidad en los sedimentos del ecosistema bajo estudio. En general el contenido de C-org. en estos sedimentos es de predominio de bajos valores y con tendencia a la uniformidad, lo cual es debido a la geomorfología y textura granulométrica que tipifica al grano arenoso bioclástico, calcarenítico. El C-org. fluctúa de 0,296 a 0,790% con una media de 0,459% y $D_s = 0,147\%$ (Tabla 1), coincidiendo con la predominancia del grano textural arenoso, y comparable a los bajos valores de C-org. (0,357–0,983%) de los sedimentos arenosos del criogénico de Jose (BONILLA 1993); y del Río Orinoco (0,380–0,870%), según la Tabla 2; y muy inferior al contenido de C-org. de los sedimentos de las regiones centrales y orientales de Venezuela (Tabla 2), donde se aprecia que existe un gradiente en las concentraciones del contenido de C-org. de los diferentes ecosistemas costeros del oriente venezolano (Tabla 2), en comparación con los del Archipiélago Los Roques, lo que está indicando que son diferentes ambientes sedimentarios, de divergente textura granulométrica que incide en el tipo y contenido de C-org.

En la Fig. 2A se aprecia la distribución espacial del C-org., con una evolución de tendencia irregular, donde la isolínea de 0,500%, demarca dos zonas bien

delimitadas de relativo elevado contenido (0,575%) en el área de Cayo Largo (Est. 10) al noroeste y en el sur en Cayo Sal (0,742%) en la Est. 13, Cayo Grande (0,501%) en la Est. 16, hacia el noreste Ests. 15 (0,522%); 3 (0,790%) y 2 (0,502%) al oeste de El Gran Roque y en el resto del ecosistema en un 60% se ubican las isótopos menores 0,500%, en un sedimento de arena gruesa.

NITRÓGENO ORGÁNICO:

La distribución espacio temporal de la especie química nitrogenada N-org. (Fig. 3B) en los sedimentos del ecosistema en estudio es de tendencia diferente al C-org. siendo más homogénea la evolución del N-org. Se aprecia que la isótopos 0,050% divide al ecosistema en dos regiones bien delimitadas de relativos altos valores demarcados por la isótopos menor 0,050% al norte en las Ests. 2 (0,053%); 3 (0,070%); 5 (0,059%) y 6 (0,061%) y al sur en la Est. 13 (0,066%).

Los más bajos contenidos indicados por las isótopos de concentración menor de 0,050%, que demarcan una amplia banda central de bajos valores (0,031–0,046%) en dirección este-oeste, delimitado al norte por los cayos Mosquite, España y Cangrejo, al sur Cayo Sal y Cayo Grande.

En general el contenido de N-org. en los sedimentos del Archipiélago Los Roques es muy pobre, por su textura arenosa y de poca incidencia abiótica, oscilando sus valores entre 0,031 (Est. 4) a 0,070% (Est. 3), con una media de 0,048% y $D_s = 0,011\%$ (Tabla 1).

La concentración media del N-org. de los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques es muy baja (0,048%), si se comparan con los valores de la Tabla 2, de 0,080% de los sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo (ARANDA 1999); 0,090% de las costas de Puerto Píritu (UDO-Corpoven 1992); del valor 0,150% de los sedimentos del Puerto Pesquero de Cumaná (GONZÁLEZ 1995), al de 0,200% (OKUDA *et al.*, 1985), 0,215% (BONILLA & CEDEÑO 1989) y 0,570% de la Laguna de Unare (LONGA & BONILLA 1984); de 0,196% (BONILLA & CEDEÑO 1989) y 0,210% en los sedimentos de la Laguna de Píritu (BONILLA & GONZÁLEZ 1992); al contenido de N-org. 0,119% del Golfo de Paria (BONILLA 1993); de 0,200% en sedimentos del Criogénico de José (BONILLA *et al.*, 1995); de 0,400% (BONILLA & LIN 1979) y 0,170% en sedimentos profundos y costeros del Golfo de Cariaco (ESPINOZA

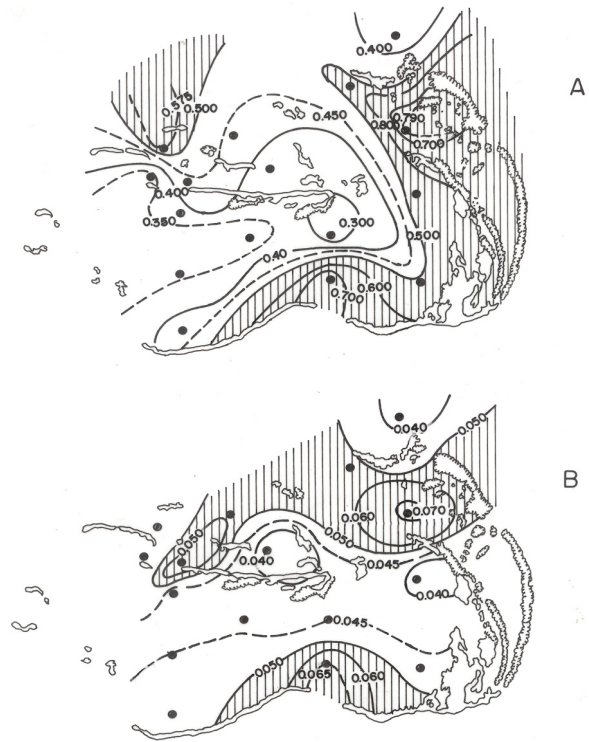


Figura 2.- Distribución espacial (A y B) del contenido de C-org. (%) y N-org. (%) en los sedimentos del Archipiélago Los Roques.

2001); al valor de 0,431% y 0,440% de los sedimentos de la Cuenca de Cariaco (BONILLA *et al.*, 1985; BONILLA 1993) y de la Ensenada de Puerto Escondido (MUDARRA 2000); de 0,073% del río Orinoco (BONILLA 1993).

El bajo contenido de N-org. en los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques, esta en relación directa con el tipo de grano predominante, textura arenosa, de origen calcarenítico y bioclástico de alto contenido de $CaCO_3$ (media 99,02 %) indicativo de una marcada actividad biológica, aunado a la intensidad de la hidrogeodinámica que caracteriza al ecosistema. (MOYA 2003).

Según la Tabla 2, la discrepancia en el contenido de N-org. de los sedimentos superficiales de la región nororiental venezolana demuestra que existe un gradiente de concentración de esta especie nitrogenada, característico, porque son ambientes sedimentarios diferentes con divergentes grados de influencia natural

TABLA 1. Caracterización de materia orgánica en sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques.

Ests.	C-org. %	N-org. %	Razón C/N	M.O.T %	N-Total %	P-org. %	P ₂ O ₅ ‰	P-Total %	Razón N/P	C H T mg/g	A y G mg/g	He mg/g
1	0,341	0,033	10,3	4,97	9,13	2,25	0,051	2,30	4,0	2,36	0,133	0,082
2	0,502	0,053	9,5	11,92	10,29	2,92	0,058	2,98	3,5	2,67	0,306	0,179
3	0,790	0,070	11,3	7,82	10,21	2,81	0,052	2,86	3,6	4,51	0,223	0,089
4	0,331	0,031	10,7	5,72	7,02	1,87	0,031	1,90	3,7	1,84	0,185	0,074
5	0,436	0,059	7,4	3,6	10,89	3,14	0,074	3,21	3,4	3,99	0,069	0,018
6	0,487	0,061	8,0	10,15	11,05	3,45	0,066	3,52	3,1	4,11	0,096	0,037
7	0,575	0,046	12,5	5,74	9,60	2,81	0,142	2,95	3,3	2,69	0,073	0,028
8	0,324	0,046	7,0	2,91	7,92	2,14	0,049	2,19	3,6	2,44	0,088	0,035
9	0,437	0,046	9,5	7,37	7,34	0,69	0,023	0,71	10,3	2,81	0,103	0,052
10	0,342	0,045	7,6	12,41	8,48	1,24	0,031	1,28	6,6	2,55	0,102	0,049
11	0,357	0,044	8,1	2,52	8,27	1,23	0,040	1,27	6,5	3,01	0,108	0,039
12	0,353	0,044	8,0	4,82	8,44	1,38	0,032	1,41	6,0	3,02	0,209	0,111
13	0,742	0,066	11,2	10,23	8,70	0,37	0,020	0,39	22,3	3,65	0,131	0,045
14	0,296	0,045	6,6	12,13	8,54	1,41	0,033	1,44	5,9	2,35	0,176	0,057
15	0,522	0,039	13,4	5,93	9,72	1,19	0,022	1,22	8,0	2,42	0,193	0,081
16	0,501	0,046	10,9	4,61	5,77	0,73	0,027	0,75	7,7	1,53	0,128	0,059
Máx.	0,790	0,070	13,4	12,41	11,05	3,45	0,142	3,52	22,3	4,51	0,306	0,179
Min.	0,296	0,031	6,6	2,52	5,77	0,37	0,020	0,39	3,1	1,53	0,069	0,018
Prom.	0,459	0,048	9,5	7,08	8,84	1,85	0,047	1,90	6,3	2,88	0,146	0,065
Ds.	0,147	0,011	2,1	3,33	1,44	0,96	0,030	0,98	4,7	0,82	0,065	0,039

y antrópica, que determina y regula la intensidad de los procesos bióticos y abióticos que inciden en la fertilidad y calidad de los sedimentos.

RAZÓN C/N:

La evolución horizontal de la razón C/N (Fig. 3A) en los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques muestra una distribución espacial de cierta tendencia similar al C-org. y al N-org. Se aprecia en la Fig. 3A que la isolinia de 10 divide al ecosistema en dos regiones bien delimitadas. La de relativas altas razones C/N de 10,3 a 13,4 demarcadas por la isolinia >10 que se corresponde a un 60% del ecosistema, desde la región norte-central (Ests. 4 y 7) hacia el nororiente (Ests. 1, 3 y 15) y sur (Ests. 13 y 16) y las bajas razones C/N de 6,6 a 9,5 representado por la isolinia < 10, se ubican al norte (Ests. 2 y 5) y la parte central en una lengua direccional de oeste-este (Ests. 6, 8, 9, 10, 11, 12 y 14). La razón C/N

fluctúa de 6,6 a 13,4 con media de 9,5 y Ds = 2,1 (Tabla 1), está indicando cierto grado de variabilidad de la materia orgánica fresca carbonada y nitrogenada. Esta relativa discrepancia en los valores de la razón C/N indica la naturaleza orgánica del material sedimentario carbonado y nitrogenado, así como el grado de asociación y variabilidad en el proceso de deposición del material orgánico fresco ya sea natural o de fuentes antrópicas exógenas y la descomposición, siendo más fácilmente liberado el nitrógeno como lo confirman las relativas elevadas razones (BONILLA *et al.*, 1986; BONILLA 1993). También, el alto valor de la razón C/N es posible a un aporte significativo de contribución de materia orgánica de origen vegetal terrígena (POCKLINGTON & LEONARD 1979). El mayor predominio en el bioecosistema Archipiélago Los Roques es de las razones C/N de tendencia al equilibrio (C/N = 10) entre la deposición del material orgánico e inorgánico fresco y descomposición de la materia orgánica. Sin

TABLA 2. Materia orgánica (media) en sedimentos superficiales de bioecosistemas costeros del oriente venezolano.

Áreas	C.O %	N.O %	C/N	M.T.O %	N-i %	N-T %	P-T %	N/P	C H T mg/g	A y G mg/g	HC mg/g	H ₂ O %
¹ Laguna Unare	1,64	0,200	9,5									54,86
² Laguna Unare	2,72	0,570	6,5				0,220					55,65
³ Laguna Unare	2,54	0,215	11,6	8,81			0,071	3,3	6,32			56,00
⁴ Laguna Unare	1,97	0,170	11,7									57,24
³ Laguna Píritu	2,64	0,196	13,5	6,94			0,079	4,0	5,99			48,31
⁴ Laguna Píritu	1,61	0,180	9,6									58,23
⁵ Laguna Píritu	2,17	0,210	10,7				0,170		3,78			54,00
³ Laguna Tacarigua	6,70	0,282	26,5	7,42			0,056	5,3				50,50
³ Laguna Marites	3,38	0,180	20,7									44,22
³ Laguna Restinga	5,60	0,270	22,8									58,16
⁶ E.G.O	1,96	0,190	10,3									31,58
¹³ E.G.O	1,08	0,080	15,9	19,35	8,84	8,52	1,28	7,7		20,18	256,00	33,90
⁷ Golfo de Cariaco	4,60	0,400	11,3				0,146	2,9	10,93			50,18
¹⁶ Golfo de Cariaco	1,83	0,170	14,9	9,04	1,93	2,10	1,61	3,0		148,48	6,12	52,35
⁸ Cuenca de Cariaco	5,56	0,431	13,6	10,16			0,133	5,5	11,39			51,60
⁸ Golfo de Paria	1,60	0,119	14,3	7,01			0,114	1,1	1,65			48,32
⁴ Bahía Bergantín	1,70	0,190	11,5							1,85		44,32
⁴ Criogénico de Jose	1,93	0,180	17,2									49,04
⁴ Costas de Pto. Píritu	1,13	0,090	15,8									45,23
⁹ Criogénico de Jose	1,86	0,200	9,5									48,76
¹⁰ Laguna Marites	2,89	0,210	13,8									50,55
¹¹ Laguna Marites	2,64	0,231	11,3									50,93
¹⁴ Laguna Chacopata	4,39	0,237	9,9	18,03			0,123	1,8	2,80	0,214	0,162	31,03
⁸ Plataforma pozuelos	2,01	0,166	12,4	7,57			0,168	1,0	1,72			46,30
⁸ Río Orinoco	0,865	0,073	12,5	1,09			0,032	1,8	0,78			20,09
¹² Puerto Pesquero	4,48	0,150	29,7									49,13
¹⁵ E.P.E	4,06	0,490	9,8	10,33	1,27	7,71	0,230	7,4		0,110	0,060	25,84
Esta Investigación	0,449	0,048	9,5	7,08	8,79	8,84	0,190	6,3	2,88	0,065	0,039	25,54

¹ OKUDA *et al*, 1985; ² LONGA & BONILLA, 1987; (Interfase); ³ BONILLA & CEDENO, 1989; ⁴ UDO-CORPOVEN, 1992; ⁵ BONILLA & GONZÁLEZ, 1992; ⁶ LÓPEZ & OKUDA, 1968; ⁷ BONILLA & LÍN, 1979; ⁸ BONILLA, *et al*, 1985; ⁹ BONILLA *et al*, 1995; ¹⁰ BONILLA & OKUDA, 1971; ¹¹ SALAZAR *et al*, 1986; ¹² GONZÁLEZ, 1995; ¹³ ARANDA, 1999; ¹⁴ FUENTES *et al*, 1997; ¹⁵ MUDARRA, 2000; ¹⁶ ESPINOZA, 2000;

embargo, se aprecian ciertos valores por debajo del equilibrio geoquímico que representan las bajas razones C/N 6,6 a 9,5 lo que es el producto de las divergencias entre los procesos bióticos y abióticos, dependiendo del tamaño del grano sedimentario y origen de la materia orgánica (BONILLA *et al*, 1995; ARANDA 1999).

En la Tabla 2, se comparan los diferentes valores de las razones C/N en diversos bioecosistemas costeros de la región oriental venezolana, con los valores obtenidos

en esta investigación, señalando que existe una amplia discrepancia orgánica en el contexto variable del contenido de C-org. y el N-org, de ecosistemas con divergente naturaleza sedimentaria, de origen natural y con alto grado de influencia antrópica de fuentes exógenas, así como aportes relevantes de material orgánico de origen terrígeno. Estas razones son indicativas de la intensidad de los procesos bióticos y abióticos que pueden estar regulando la calidad y fertilidad orgánica de los sedimentos en los

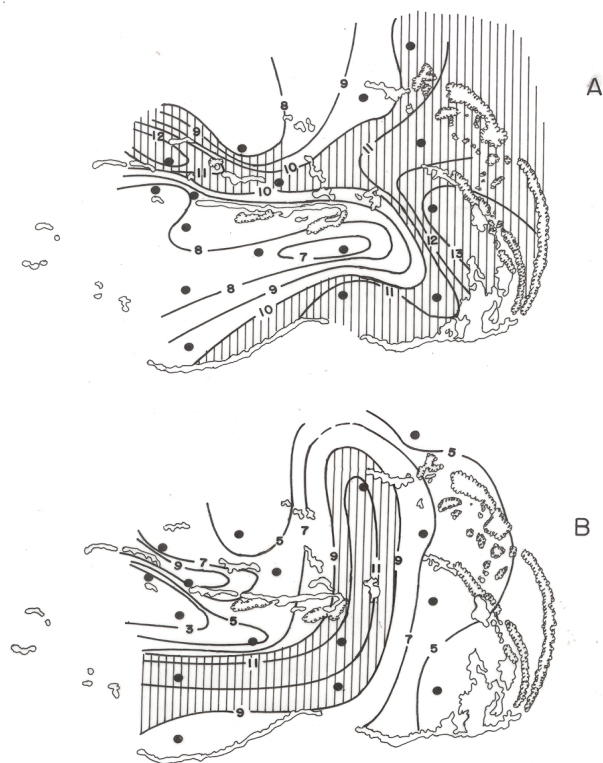


Figura 3.- Evolución horizontal (A y B) del valor de la Razón C/N y de la materia orgánica total (MOT) en los sedimentos del Archipiélago Los Roques.

bioecosistemas. En general, en la Tabla 2 se indican que las razones cercanas a 10, donde la deposición y la descomposición orgánica tienden al equilibrio, no así los elevados valores obtenidos en los ecosistemas: Golfo de Paria (14,3); Golfo de Cariaco (14,9); costas de Píritu (15,8); Ensenada Grande del Obispo (15,9); Criogénico de José (17,2); Laguna Las Marites (20,7); Laguna La Restinga (22,8); Laguna Tacarigua (26,5); que corroboran la predominancia de material orgánico exógeno de alta incidencia antropogénica donde prevalecen los procesos abióticos, aunado al elevado aporte de materia orgánica de origen vegetal terrígena (POCKLINGTON & LEONARD 1979; BONILLA & LIN 1979; BONILLA 1993; ARANDA 1999; RAMÍREZ 1999).

MATERIA ORGÁNICA TOTAL (MOT):

La MOT se considera que es el material orgánico primario de diversas fuentes que conforma la primordial

fracción del sistema sedimentario que se acumula y caracteriza las diferentes texturas y tamaños de granos que forman los sedimentos del fondo, en los ecosistemas marinos y oceánicos, que están regulados por los procesos bióticos y abióticos, y controlan los cambios diagenéticos. (BONILLA 1993; BONILLA *et al.*, 1995; ARANDA 1999).

La distribución horizontal de la MOT mediante el flujo direccional de las isolíneas (Fig.3B), señala una evolución diferente al C-org. N-org. y razón C/N. Donde se aprecia que la isolínea de 9,0%, regionalmente divide al ecosistema en dos zonas bien delimitada. La de relativos altos contenidos (10,15–12,13%) demarcadas por las isolíneas > 9,0%, ubicadas en un canal unidireccional desde el sur-oeste (Est. 10); sur (Ests. 13 y 14) al norte (Est. 2) y al oeste en forma de cuña en la Est. 6, estando el resto del bioecosistema en un 60% conformado por bajos valores de MOT (2,52 a 7,82%) representados por las isolíneas < 9,0%. En los sedimentos del Archipiélago Los Roques el contenido de MOT fluctuó entre 2,52 a 12,41% con una media de 7,08% y $D_s = 3,33\%$ (Tabla 1). Se aprecia que los altos valores de MOT se encontraron en las regiones donde los procesos bióticos son más intensos, favoreciendo la tasa de sedimentación y la biodeposición. En cambio en las áreas de bajos valores de MOT, demuestran el efecto de la hidrodinámica que tipifica al ecosistema (BONILLA 1993; BONILLA *et al.*, 1995; ARANDA 1999).

En la Tabla 2 se compara el contenido de MOT de los sedimentos del Archipiélago Los Roques con los valores obtenidos en varios ecosistemas del oriente venezolano, encontrándose un gradiente con altas discrepancias, debido a que son ecosistemas con diversos procesos de sedimentación y diferente tipo de grano sedimentario predominante lo que incide en el grado de intensidad biótica y abiótica.

NITRÓGENO TOTAL:

La evolución horizontal del N-total (Fig. 4A) señala una distribución de sus isolíneas diferentes a la MOT y de tendencia direccional al N-org., siendo la especie química del N-inorg. la que caracteriza el elevado contenido de la especie N-total en los sedimentos de este ecosistema, lo que determina que es el producto de una intensa actividad de los procesos abióticos, mediante la utilización como fuente energética por las bacterias

del contenido orgánico o de la especie N-org. para la mineralización a las especies de nitrógeno inorgánico (nitrato, nitrito y amonio). En la Fig. 4A la isolínea de 8,0%, delimita al ecosistema con un área de relativas altas concentraciones (8,54 a 11,05%) en más del 80% del cuerpo del Archipiélago y los bajos valores están ubicado al oeste (Est. 8 con 7,92%) y sur-oeste (Est. 9 con 7,34%) y sur-este (Est. 16 con 5,77%). En los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques se encontró que la concentración de N-total varió de 5,77 a 11,05% con una media de 8,84% y $D_s = 1,44\%$ (Tabla 1) confirmando que la fracción de N-inorg. (Tabla 2) es la que cuantifica y determina la evolución y concentración del N-total.

En la Tabla 2 se compara el contenido de N-total (8,84%) de esta investigación con los valores obtenidos en otros ecosistemas, siendo ligeramente inferior al N-total igual a 8,52% de los sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo (ARANDA 1999) y muy superiores a la concentración de 2,10% en los sedimentos costeros del Golfo de Cariaco (ESPINOZA 2001).

ORTOFOSFATOS:

La distribución espacial de los ortofosfatos se representa en la Fig.4B, su evolución regular y de cierta tendencia similar al N-org. y muy diferente al contenido de C-org. razón C/N; MOT; y N-total. Se aprecia que la isolínea de 0,04% sectoriza al ecosistema en dos regiones bien delimitada, la de relativos altos valores (0,031 a 0,142%) ocupando un 50% del área del ecosistema, desde la parte medio-central (Est. 11) hacia el noroeste (Ests. 5, 6, 7 y 8) al noreste (Ests. 1, 2 y 3).

En la Tabla 1 se aprecia que el contenido de fosfatos fluctuó de 0,020 a 0,142%, con media de 0,047% y $D_s = 0,030\%$. Estos bajos contenidos de fosfatos se deben a que son liberado de la materia orgánica y del fósforo metálico, siendo la mayor incidencia de fosfatos hacia el norte del Archipiélago, como producto de la intensidad abiótica.

FÓSFORO ORGÁNICO:

El fósforo orgánico (P-org.) conforma una parte asociada de la materia orgánica que mediante la actividad bacteriana, esta se transforma a la forma de P-inorg. La especie química de $\text{CaCO}_3\text{-P}_3$ es el más importante

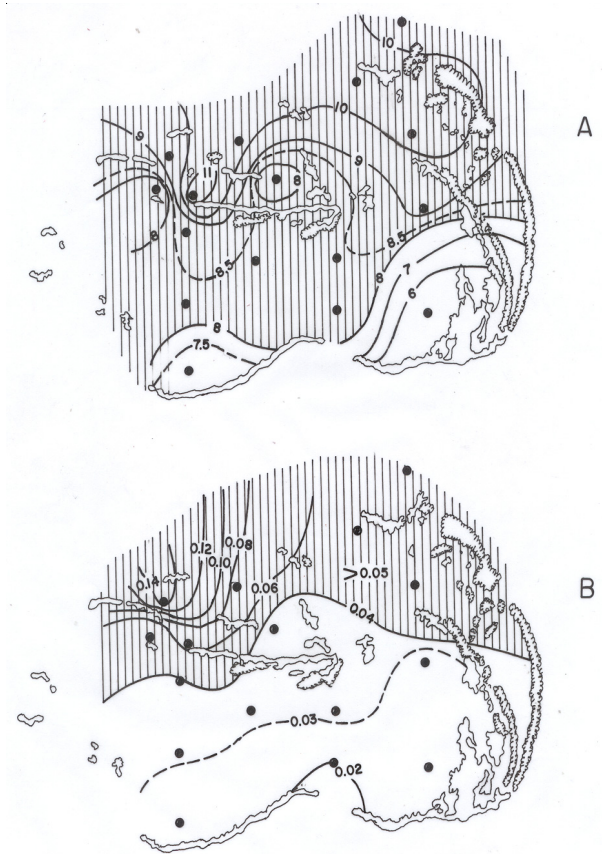


Figura 4.- Variación estacional (A y B) de las concentraciones de nitrógeno total (N-total %) y de ortofosfatos (P O %) en los sedimentos del Archipiélago Los Roques.

compuesto químico en los ambientes marinos y lacustres que controla el contenido de fósforo en el agua y sedimentos (SADIQ 1992; ARANDA 1999).

El P-org. presenta un comportamiento de tendencia similar a la evolución del P-inorg. y diferente a la de los parámetros de las especies química carbonadas y nitrogenadas. Según la Fig. 5A, la isolínea $> 2,0\%$ divide al ecosistema en dos regiones bien delimitadas, la de relativos altos valores de P-org. (2,16 a 3,45%) en las Est. 1 a 3 y 5 a 8; y la de bajos contenidos (0,37–1,87%) en las Ests. 4 y 9 a 16 (Tabla 1). El mayor contenido de P-org. al igual que el P-org. hacia el norte del Archipiélago, indican las fuentes de aportes de diversos orígenes, que regulan la intensidad abiótica. En general, las concentraciones de P-org. variaron entre 0,37 a 3,45% con media de 1,85% y $D_s = 0,96\%$ (Tabla 1).

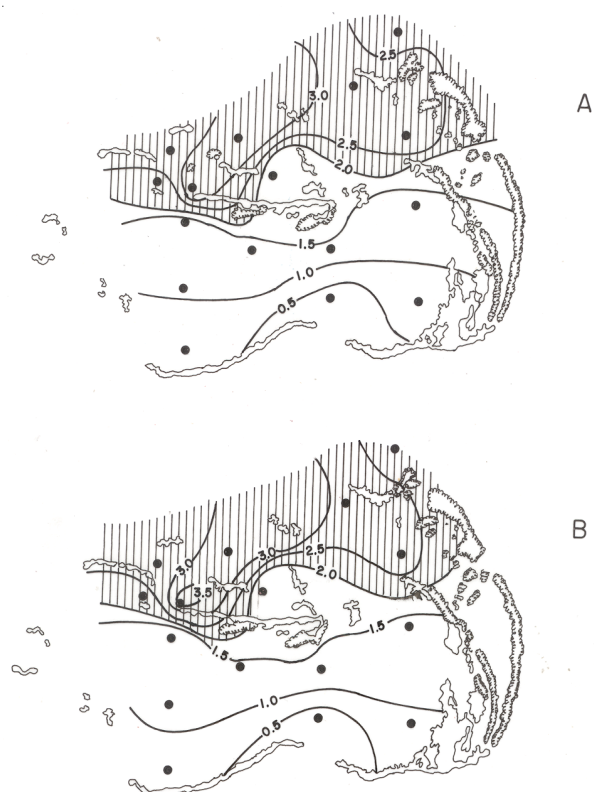


Figura 5.- Distribución horizontal (A y B) del contenido de fósforo orgánico (P-org. %) y fósforo total (P-total %) en los sedimentos del Archipiélago Los Roques.

El valor medio del P-org. (1,85%) de los sedimentos del Archipiélago Los Roques es pobre si lo relacionamos con otros ecosistemas costeros, debido a su geomorfología y textura granulométrica, principalmente de origen bioclástico calcareníticos de más de 90% de contenido de CaCO_3 .

FÓSFORO TOTAL:

En la Fig.5B se representa la distribución espacial del contenido de P-total (P-org. + P-org.) en los sedimentos del Archipiélago Los Roques, el desplazamiento de las isolíneas es uniforme y similar a la evolución del fósforo inorgánico y orgánico siendo este último de mayor incidencia distributiva y de contenido discrepante a las especies químicas carbonadas y nitrogenadas. Las mayores concentraciones de P-total se ubican en un 40% del ecosistema, desde el centro hacia el norte (2,19 a 3,52%) y los valores bajos (0,39 a 1,90%) en el resto del ecosistema.

Los contenidos de P-total en los sedimentos del Archipiélago Los Roques fluctuaron de (0,39 a 3,52%) con una media de 1,90% y $D_s = 0,98\%$ (Tabla 1). El valor medio de P-total (1,90%) se compara con los contenidos encontrados en los sedimentos superficiales de bioecosistemas costeros del oriente venezolano (Tabla 2), siendo superior al valor de P-total = 0,071% de Laguna de Unare (LONGA & BONILLA 1984); al 0,079 y 0,170% Laguna de Píritu (BONILLA & CEDEÑO 1989; BONILLA & GONZÁLEZ 1992); al valor 0,056% de la Laguna de Tacarigua (BONILLA & CEDEÑO 1989); al 1,28% de la Ensenada Grande del Obispo (ARANDA 1999); al 0,146 y 1,61% del Golfo de Cariaco (BONILLA & LIN 1979; ESPINOZA 2001); al 0,133% fosa de Cariaco (BONILLA 1993); al 0,114% Golfo de Paria (BONILLA 1993); al 0,123% Laguna las Marites (SALAZAR *et al.*, 1986); al 0,168 y 0,032% de la plataforma de Pozuelos y Río Orinoco (BONILLA 1993); al 0,230% de la Ensenada de Puerto Escondido (MUDARRA 2000). Se aprecia diferencias en el contenido de P-total, debido a que son ecosistemas divergentes hidrogeoquímicamente y geodinámico con diversos grados de intensidad de los procesos bióticos y abióticos.

El relativo alto contenido de P-total al norte y con un gradiente hacia el sur que se representa en la fracción orgánica de los sedimentos del Archipiélago Los Roques, se debe posiblemente a que es un biotopo de mar abierto con áreas, donde es alto y floreciente el aporte de plancton rico en fósforo, el cual es removido posterior a la deposición de la materia orgánica de origen natural y exógeno antrópico, favoreciendo los mecanismos abióticos y de menor intensidad hacia el sur (BONILLA *et al.*, 1986) en la forma de fosfatos y poli fosfatos.

RAZÓN N/P:

En la Fig. 6A se representa la distribución espacial de la razón N/P que es de tendencia irregular y diferente a la evolución horizontal de las especies químicas C-org. N-org. MOT y las nitrogenadas y fosforadas, siendo el desplazamiento de las isolíneas inverso al de las especies P-inorg. P-org. y P-total, demarcando la mayor influencia evolutiva y en el incremento del contenido de la razón N/P, la fracción del N-inorg. similar fenómeno reportó ARANDA (1999) para los sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo, confirmando que el fósforo se degrada más rápidamente

que el nitrógeno a pesar de los valores relativamente altos del P-total.

Se aprecia en la Fig. 6A que la isolínea de 4,0 demarca el límite de altos y bajos valores de la razón N/P, ubicándose las isolíneas de la razón N/P > 4,0 desde el sur (oeste-este) en una lengua direccional desde la Est. 13 (sur-centro) donde se encontró el mayor valor (22,1) como consecuencia del bajo contenido de P-total (0,39%) y alto valor de N-total (8,70%), según la Tabla 1, hacia la parte centro-oriental ocupando más del 50% del cuerpo del ecosistema (Ests. 9 a 16), los altos valores de la razón N/P (5,9 a 22,3). Los bajos contenido de la razón N/P (3,1 a 4,6) según la isolínea < 4,0 se distribuyen desde el centro-oeste hacia nor-este.

La razón N/P en los sedimentos del Archipiélago Los Roques fluctúan con valores de 3,1 a 22,3% con un promedio de 6,3% y Ds = 4,7% (Tabla 1).

El contenido medio de la razón N/P 6,3 se compara con los valores obtenidos en los sedimentos de diversos ecosistemas del oriente venezolano (Tabla 2), apreciándose en general, gran discrepancia, debido a que son ambientes sedimentarios diferentes con influencia antrópica e intensidad abiótica discrepante, dependiendo de la especie química nitrogenada o fosforada predominante. El valor de la razón N/P 6,3 es ligeramente inferior al de 7,4 y 7,7 de los sedimentos superficiales de las Ensenadas de Puerto Escondido y Grande del Obispo, donde se encontró similar intensidad abiótica (ARANDA 1999 y MUDARRA 2000). Este valor de la razón N/P es muy superior al 0,99 y 1,51 de la plataforma de Pozuelos y áreas adyacentes (BONILLA *et al.*, 1985); al de 1,8 del Río Orinoco y la Laguna de Chacopata (BONILLA 1993 y FUENTES *et al.*, 1997), al valor 3,3 y 3,0 de los sedimentos de la Laguna de Unare y golfo de Cariaco (BONILLA & CEDEÑO 1989; BONILLA & LIN 1979 y ESPINOZA 2001); al de 4,0 de los sedimentos de la Laguna de Píritu (BONILLA & CEDEÑO 1989); al de 5,3 y 5,5 de los sedimentos de la Laguna de Tacarigua y Cuenca de Cariaco (BONILLA & CEDEÑO 1989 y BONILLA 1993).

CARBOHIDRATOS TOTALES (CHT):

Los carbohidratos totales (CHT) se representan en la Fig. 6B con una evolución espacial de las isolíneas diferente a las especies C-org. N-org. MOT; nitrogenadas

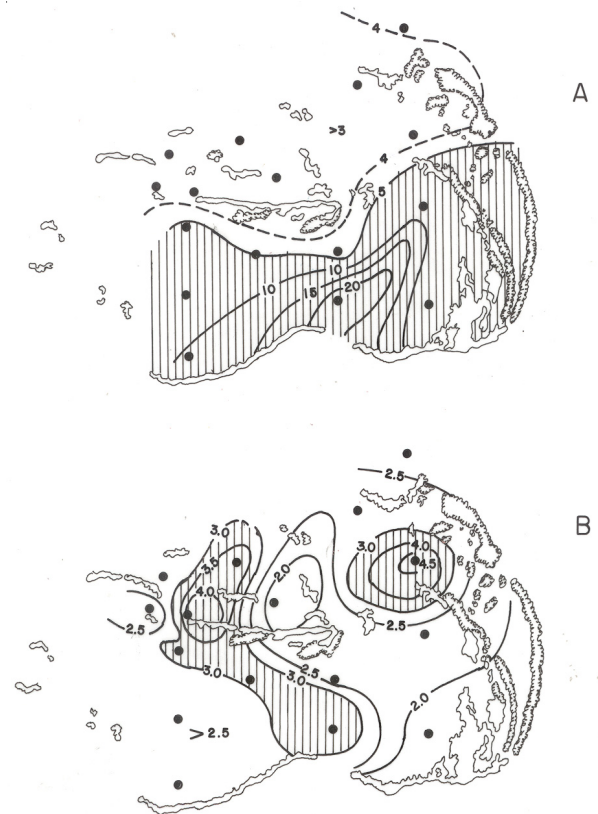


Figura 6.- Evolución espacial (A y B) de las razones N/P y el contenido de carbohidrato totales (CHT mg/g) en los sedimentos del Archipiélago Los Roques.

y fosforadas, siendo la isolínea de 3,0 mg/g la que diferencia las agrupaciones en núcleos concéntricos las de altos y bajos contenidos de CHT. Los mayores valores (3,01 a 4,11 mg/g) se ubican en una lengua distributiva desde el nor-oeste hacia el sur (Ests. 5, 6, 11, 12, y 13) y en un núcleo concéntrico en la Est. 3 (4,51 mg/g) en la región oriental y las isolíneas < 3,0 mg/g que representan las de bajas concentraciones de CHT (1,53 a 2,67 mg/g) se ubican en más del 70% del cuerpo del ecosistema. El contenido de CHT en los sedimentos del Archipiélago Los Roques fluctúan entre 1,53 a 4,51 mg/g con media de 2,88 mg/g y Ds = 0,82 mg/g (Tabla 1). El valor medio de CHT (2,88 mg/g) en este ecosistema al ser comparado con los obtenidos en sedimentos de biotopos del oriente Venezolano (Tabla 2) es ligeramente superior al contenido de 0,78 mg/g; 1,65 mg/g 1,72 mg/g y 1,92 mg/g, en los sedimentos del Río Orinoco; Golfo de Paria; Plataforma de Pozuelos y Delta del Río Orinoco (BONILLA *et al.*,

1985 y BONILLA 1993), siendo el contenido de CHT inferiores a los valores de 3,78 mg/g; 5,99 mg/g y 6,32 mg/g obtenidos en los sedimentos de las Lagunas de Tacarigua, Píritu y Unare (BONILLA & CEDEÑO 1989) y muy inferior al contenido de 10,93 mg/g y 11,39 mg/g detectado en los sedimentos del Golfo de Cariaco y en la cuenca de Cariaco (BONILLA & LIN 1979; BONILLA *et al.*, 1985 y BONILLA 1993), siendo comparable al valor de 2,80 mg/g de los sedimentos de la Laguna de Chacopata (FUENTES *et al.*, 1997). Las altas concentraciones de CHT son típicas y se presentan en los sedimentos de textura fina de elevados contenidos de C-org. característicos de ecosistemas de alta productividad biológica y orgánica (Tablas 1 y 2).

ACEITES Y GRASAS:

La calidad de los sedimentos en un ecosistema marino costero puede estar alterada por la presencia de fuentes antrópicas que aportan los Aceites y Grasas (A y G), e hidrocarburos de origen petrogénicos y parámetros reductores, no biodegradable que al acumularse en los organismos de la fauna y flora bentónica producen efectos tóxicos, degradando la calidad del sedimento.

La distribución espacial de A y G (Fig. 7A), muestra un comportamiento evolutivo diferente a las especies C-org. N-org. MOT; nitrogenadas; fosforadas; carbohidratos totales. La isolínea de 0,150 mg/g delimita al ecosistema en dos regiones bien definida; de altos y bajos valores, estando los mayores contenidos de A y G (0,176 a 0,306 mg/g) representados por la isolínea > 0,150 mg/g que ocupa un 40% del cuerpo del ecosistema (Ests. 2, 3, 4, 12, 14 y 15) desde la parte central hacia el nor-este y los bajos valores (0,069 a 0,133 mg/g) en el oeste-central al sur y en la Est. 1. Los incipientes valores de aceites y grasas contenidos en los sedimentos del Archipiélago Los Roques varían entre 0,069 mg/g a 0,306 mg/g, con media de 0,146 mg/g y Ds = 0,065 mg/g, (Tabla 1). La escasa presencia de A y G en el ecosistema estudiado determina que el origen puede ser debida a la contribución natural biogénica "*in situ*" de manglares y macroalgas de sus fondos, regulando el posible influjo antrópico por la hidrodinámica propia del Archipiélago Los Roques.

El valor medio de A y G de 0,065 mg/g se compara con las concentraciones encontradas en los sedimentos en diferentes ecosistemas del oriente venezolano (Tabla 2) siendo este contenido inferior al de 0,110 mg/g y 0,214

mg/g de sedimentos de la Ensenada Puerto Escondido y Laguna de Chacopata (FUENTES 1998 y MUDARRA 2000), considerados ecosistemas de escaso o nulo efecto antrópico de aportes de A y G de origen exógeno. Es muy inferior al valor de A y G 1,85 mg/g de sedimentos de la Bahía de Bergantín (UDO-CORPOVEN 1992); al de 20,18 mg/g de los sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo (ARANDA 1999) y al elevado contenido de A y G de 148,68 mg/g (ESPINOZA 2001), que son estos últimos biotopos de alta incidencia exógena de origen antrópico de divergentes fuentes, industriales y domesticas.

HIDROCARBUROS:

La composición granulométrica y la textura prevaleciente de un sedimento tienen una relación directa con la sedimentación orgánica y acumulación de hidrocarburos, siendo los sedimentos finos (arcillos-limosos) característicos de altos contenidos de materia orgánica, los que más retienen hidrocarburos, los cuales pueden provenir de origen biogénico o antropogénico en el medio ambiente sedimentario, siendo preservados o dispersados después de la biodegradación de la materia orgánica por los mecanismos bióticos (microorganismos marinos) y abióticos (geoquímicas) "*in situ*" (FARRINGTON *et al.*, 1977; BRUNS *et al.*, 1982; BONILLA 1982).

El impacto de un contaminante orgánico sobre el ambiente marino está relacionado con su grado de toxicidad y la susceptibilidad a biodegradarse. Siendo vital la evaluación de estos parámetros orgánicos para así cuantificar el riesgo ambiental que pueda causar un compuesto de naturaleza orgánica degradante.

La contaminación causada por los hidrocarburos petrogénicos de origen industrial (petrolera y petroquímica) a los ecosistemas costeros ocasiona deterioro y altera la calidad y la condición ambiental, tanto de la masa de agua como de los sedimentos, en muy corto plazo reduciendo el número de especies y causando efectos nocivos a los ecosistemas (CEDEÑO & BONILLA 1992; ARANDA 1999).

La distribución espacial del contenido de hidrocarburos (Fig. 7B) es de tendencia homogénea y diferente a la evolución de los parámetros antes estudiados. En general, las isolíneas que representan bajas concentraciones se desplazan con leve incremento

de oeste a este excepto dos regiones de núcleos de relativos incrementos, en la Est. 2 (0,179 mg/g) y en la Est. 12 (0,111 mg/g). El contenido de hidrocarburos en los sedimentos superficiales del Archipiélago Los Roques oscila entre 0,018 a 0,179 mg/g con media de 0,065 mg/g y $D_s = 0,039$ mg/g (Tabla 1).

Las bajas concentraciones de hidrocarburos detectados en los sedimentos del Archipiélago Los Roques, nos indican que se debe a una penetración de energía biogénica marina, proveniente de las micro y macroalgas bénticas que recubren sus fondos, aunado a los alcanos del plancton, etc. Los datos revelan que no existe afectación degradativa por hidrocarburo petrogénicos de origen antrópico y su condición es natural biogénica.

El valor medio de HC (0,039 mg/g) se compara con las concentraciones obtenidas en sedimentos superficiales de bioecosistemas costeros del oriente venezolano (Tabla 2) siendo más bajo que el valor de 0,060 mg/g de sedimentos de la Ensenada de Puerto Escondido (MUDARRA 2000); al contenido de 0,162 mg/g de los sedimentos de la laguna de Chacopata (FUENTES 1998) considerados ecosistemas sin incidencia antrópica y no contaminados por HC petrogénicos, sino de origen natural biogénicos. Estando el contenido de HC del ecosistema en estudio muy bajo, con relación al valor de 6,12 mg/g de sedimentos costeros del Golfo de Cariaco (ESPINOZA 2001) y al contenido altísimo de HC de 253,00 mg/g en sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo de alta incidencia antrópica diferente, que refleja la contaminación por HC petrogénicos.

En la Tabla 3 se aprecia el contenido de $CaCO_3$; parámetros reductores, ion cloruro y la permeabilidad, en los sedimentos del Archipiélago Los Roques.

Se detectó que el contenido de $CaCO_3$ es muy alto y uniforme en los sedimentos de todo el cuerpo del ecosistema en estudio (97,97 a 99,80%), con una media de 99,02% esta distribución lo confirma la $D_s = 0,54\%$, siendo su origen calcarenítico biogénico, confirmado por los fragmentos de conchas y de algas calcáreas. En la Tabla 4 se compara el elevado valor del $CaCO_3$ (99,02%) de los sedimentos calcareníticos del Archipiélago Los Roques, con los reportados para sedimentos carboníticos, clásticos y bioclásticos de bioecosistemas costeros del oriente venezolano, siendo muy superior a

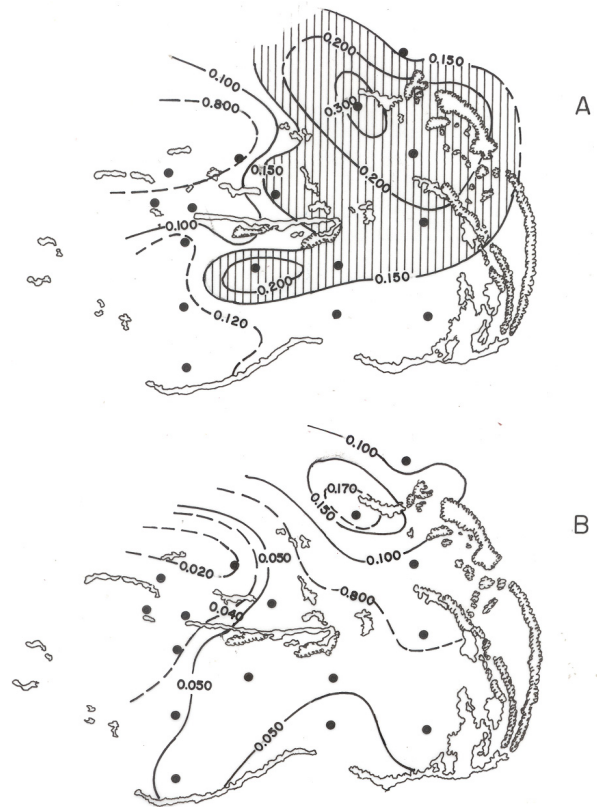


Figura 7.- Variación estacional (A y B) de las concentraciones de aceites y grasas (A y G mg/g) y de los hidrocarburos (HC mg/g) en los sedimentos del Archipiélago Los Roques.

los del Río Orinoco (1,86%); Golfo de Paria (13,72%); plataforma de Pozuelos (25,85%); cuenca de Cariaco (35,54%) reportados por BONILLA *et al.*, 1985, a los contenidos de $CaCO_3$ de Bahía de Barcelona (20,32%); Bahía de Pozuelo (33,18%); Bahía de Bergantín (34,73%) según BONILLA *et al.*, 1986; así como los valores (35,53%) de la Ensenada Grande del Obispo (ARANDA 1999 y BONILLA *et al.*, 2002) al valor 21,49% del Golfo de Cariaco (ESPINOZA 2001) y al contenido de $CaCO_3$ 45,62% de la Ensenada de Puerto Escondido (MUDARRA 2000).

Los parámetros reductores $Cons.O_2$ y DQO en general su contenido son muy bajos (Tabla 3) en los sedimentos de Archipiélago Los Roques, indicando que no existe alteración degradativa de estos sedimentos. Los valores del $Cons.O_2$ fluctuaron de 16,64 a 46,21 ppm con media 35,80 ppm, indicando cierto gradiente de acuerdo a la $D_s =$

TABLA 3. Contenido de CaCO₃; Cons. O₂; DQO; Cloruro y Permeabilidad en los Sedimentos Superficiales del Archipiélago Los Roques

Ests.	CaCO ₃ %	Cons. O ₂ ppm	DQO mg/g	Cloruro mg/g	H ₂ O %
1	99,39	30,79	6,35	9,70	20,58
2	97,97	35,10	12,28	5,30	25,12
3	98,19	38,50	14,46	6,68	28,01
4	99,80	44,92	5,31	1,91	20,34
5	98,35	29,35	14,14	5,65	30,14
6	98,77	46,21	14,04	6,72	20,08
7	98,78	44,29	10,72	6,16	25,91
8	99,19	39,36	9,21	7,74	30,26
9	99,19	31,88	13,64	5,62	23,06
10	99,39	38,76	12,50	5,63	24,23
11	99,18	28,51	11,23	5,38	25,08
12	98,56	41,44	9,15	7,03	27,19
13	99,18	42,04	17,38	5,22	22,43
14	99,40	30,33	10,45	4,58	21,69
15	99,16	34,64	8,08	7,40	27,18
16	99,80	16,64	9,91	4,74	21,34
Máz	99,80	46,21	17,38	7,74	30,26
Min	97,97	16,64	5,31	1,91	20,08
Prom.	99,02	35,80	11,18	5,65	24,54
Ds	0,54	7,73	3,19	1,39	3,38

7,73 ppm. La DQO varió su bajo contenido de 5,31 a 17,38 mg/g con media de 5,65 mg/g y una Ds = 3,19 mg/g revelando una cierta uniformidad en sus valores.

Al compara el valor 35,80 ppm del Cons.O₂ con los reportados en la Tabla 4 este solamente es superior al valor de 7,36 ppm de los sedimentos del Río Orinoco (BONILLA *et al.*, 1985) y muy inferior a los valores de los bioecosistemas del oriente de Venezuela que indican divergentes grados de contaminación en esos ecosistemas dependiendo de la influencia del aporte antropogénico como es el caso del valor 536,30 ppm del Golfo de Paria, y al contenido de 748,91 ppm de los sedimentos de la cuenca de Cariaco (BONILLA *et al.*, 1985), así como el valor de 990,50 ppm de los sedimentos de la Bahía de Bergantín (BONILLA *et al.*, 1986).

Similar comportamiento señala en la Tabla 3 el ion cloruro al contenido de Cons. O₂ y DQO, con valores oscilando 1,91 a 7,74 mg/g con media 5,65 mg/g y una Ds = 1,39 que señala gran tendencia a la uniformidad en la concentración del ion cloruro, así que su interferencia en el contenido de C-org. es escasa o nula.

TABLA 4. Contenido de CaCO₃; Parámetros Reductores e Ion Cloruro de Bioecosistemas Costeros del Oriente Venezolano

Areas	CaCO ₃ %	Cons. O ₂ ppm	DQO mg/g	Azufre %	DQO/S	Cloruro mg/g
1- Laguna Marites	24,34	81,87	55,98	0,380	1,47	
2- Laguna Campoma		183,85	84,86	1,82	66,30	
4- Laguna Unare		375,20		3,30		
4- Laguna Píritu		340,80		4,77		
5- Laguna Píritu		208,86	49,64	6,42	7,73	
4- Laguna Tacarigua		366,50		2,27		
3- Golfo de Paria	13,72	536,30	7,32	0,081	90,37	21,04
6- Bahía de Barcelona	20,32	319,97		0,634		
6- Bahía Pozuelos	33,18	138,93		0,278		
6- Bahía Bergantín	34,73	74,91		0,588		
7- Puerto Pesquero	16,22	990,50		23,39		
8- Laguna Chacopata	45,64	132,99	27,37	0,437	62,63	
9- Ensenada Grande del Obispo	35,53	271,98	37,04	0,355	104,34	50,54
3- Cuenca Cariaco	35,54	748,91				31,09
3- Plataforma de Pozuelos	25,85	112,30				22,83
3- Río Orinoco	1,86	7,36				
10- Ensenada Puerto Escondido	45,62	68,57	20,89	0,850	24,58	3,90
11- Golfo de Cariaco	21,49		26,80			29,95
Esta Investigación	99,02	35,80	11,18			5,65

¹ BONILLA & OKUDA, 1971 y SALAZAR *et al.*, 1986; ² BONILLA & GARCIA, 1975; ³ BONILLA *et al.*, 1985; ⁴ BONILLA & CÉDENO, 1989; ⁵ BONILLA & GONZÁLEZ, 1992; ⁶ BONILLA *et al.*, 1986; ⁷ GONZÁLEZ, 1995; ⁸ FUENTES, 1998; ⁹ ARANDA, 1999; ¹⁰ MUDARRA, 2000; ¹¹ ESPINOZA, 2000.

Se compara el valor 5,65 mg/g del Ion cloruro con los contenidos de los sedimentos de los ecosistemas costeros del oriente venezolano, apreciándose que son superiores, como indicadores del grado de interferencia en la fracción del C-org. (Tabla 4).

El contenido de humedad de los sedimentos del Archipiélago Los Roques en la Tabla 3 nos indica el grado de permeabilidad que será la típica de sedimentos arenosos de alta permeabilidad. Los valores de H₂O 20,08 a 30,26% con media 24,54% de tendencia uniforme como lo demuestra la Ds = 3,38% indicando los valores del contenido hídrico que son sedimentos altamente permeables.

CONCLUSIÓN:

1. En general, el contenido de la materia orgánica carbonada y nitrogenada es bajo, su origen es natural, típico de sedimentos arenosos calcareníticos y bioclásticos, se comportan con tendencia hacia el equilibrio entre la deposición de material fresco y la descomposición de la materia orgánica de acuerdo a la razón C/N 9,5.

2. La MOT es relativamente alta, al igual que el N-total, como incidencia del aporte elevado del N-inorg. al igual que el P-total. Esto determina que es un sedimento natural en equilibrio mediante los procesos bióticos y abióticos, de buena calidad orgánica.

3. Los valores de Carbohidratos Totales en estos sedimentos arenosos calcareníticos y biogénicos son bajos, al igual que el contenido del ion cloruro, que no presenta interferencia con el C-org.

4. El bajo contenido de A y G, así como de hidrocarburos no petrogénico confirma la calidad y condición ideal del sedimento del Archipiélago Los Roques, de arenas calcareníticas biogénicas altamente permeable.

5. El bajo contenido de parámetros reductores, Cons. O₂ y DQO en estos sedimentos arenosos indican, poca acción reductora con escaso efecto abiótico y de insipiente o nula contaminación en los sedimentos del Archipiélago para la época de la investigación.

AGRADECIMIENTO

Los autores, expresan su reconocimiento al personal científico y técnico del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela por su invaluable contribución en la obtención y confiabilidad de la data en especial al T.S.U ADELKY MÁRQUEZ por su valioso y desinteresado aporte y a todas aquellas personas que de una u otras formas nos incentivaron para llevar a feliz culminación la presente investigación, con miras a tratar de contribuir en el presente y en el futuro a la mejor conservación y utilización del ecosistema marino Archipiélagos los Roques.

REFERENCIAS

ARANDA, S. I. 1999. *Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de oriente, Cumaná, Venezuela, 93 pp.

APHA – AWWA – WPCF. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*. 19th edition. Washington. U. S. A. 426 pp.

BONILLA, J. 1977. Condiciones hidroquímicas del agua

y características químicas de los sedimentos del Golfo de Paria durante la expedición LS-7302. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 16(1&2):99-114.

_____. 1982. Algunas características geoquímicas de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 21(1&2):135-155.

_____. 1993. *Características hidrogeoquímica: comportamiento y significado de modelos estadísticos multivariante en el bioecosistema marino costero de José*. Edo. Anzoátegui, Venezuela. Trab. Asc. Prof. Titular, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 231 pp.

_____. & A. LIN. 1979. Materia orgánica en los sedimentos superficiales de los Golfos de Paria y Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 18(1&2):37-52.

_____. & C. GONZÁLEZ. 1992. Algunos aspectos geológicos y características químicas en los sedimentos de la Laguna de Píritu. Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 31(1&2):12-23.

_____. & G. CEDEÑO. 1989. Características orgánicas del bioecosistema Laguna de Tacarigua, Unare-Píritu, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 28(1&2):225-237.

_____. , G. CEDEÑO & B. GAMBOA. 1986. Características químicas en sedimentos de la Bahía de Pozuelos y áreas adyacentes. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 25(1&2):215-231.

_____. , Y. POYER. & B. GAMBOA. 1985. Características geoquímicas en núcleos de sedimentos de la región Nor-Oriental y Río Orinoco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 24(1&2):43-61.

_____. , J. FERMÍN, M. CABRERA & B. GAMBOA. 1995. Aspectos geoquímicos de los sedimentos superficiales del ecosistema marino costero de Jose. Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 34(1&2):5-23.

- _____, A. QUINTERO, A. ÁLVAREZ, M. DE GRADO, A. GIL, H. GUEVARA, G. MARTÍNEZ & S. SANT. 1998. Condición ambiental de la Ensenada Grande del Obispo, Edo. Sucre, Venezuela. *Scientia* 13(1):35-41.
- BURNS, A., J. VILLANUEVA & C. ANDERLING. 1982. Survey of tar, hydrocarbons and metal pollution in the Coastal Water of Oman. *Mar. Poll. Bull.* 13(7):240-271.
- CARIPOL. 1980. Manual para la vigilancia de la contaminación por petróleo. *Comisión Oceanográfica Intergubernamental*. 1-83.
- CEDEÑO G. & J. BONILLA. 1992. Contaminación por hidrocarburos en las Lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 31(1&2):63-72.
- ESPINOZA, L. 2001. *Geoquímica de los sedimentos Superficiales de Golfo de Cariaco y del Río Manzanares*. Trab. Grad. Lic Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 90 pp.
- FARRINGTON, W., N. FREW, M. GSCHEND & W. TRIPP. 1977. Hydrocarbons in Cores of Northwester Atlantic Coastal and Continental Margin Sediments. *Estuar & Coastal Mar. Sci.* 5:793-808.
- FUENTES, M. 1998. *Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Edo. Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 113 pp.
- _____, J. BONILLA. & J. FERMÍN. 1997. Algunas características químicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Edo Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 36(1&2):69-79.
- GAMBOA, B. & J. BONILLA. 1983. Distribución de metales pesados (Fe, Mn, Cu y Zn) en sedimentos de la cuenca Tuy-Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 22(1&2):103-110.
- _____, J. BONILLA. & G. CEDEÑO. 1986. Concentración de algunos metales pesados de sedimentos superficiales de la bahía de Pozuelos y Areas Adyacentes. Edo. Anzoátegui. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 25(1&2):233-240.
- GÓMEZ, A. 1992. Causas de la fertilidad marina en el Nororiente de Venezuela. *Intervención*, 21(3):123-134.
- _____. 1996. Causas de la fertilidad marina en el Nororiente de Venezuela. *Intervención*. 21(3).
- GONZÁLEZ, C. 1987. *Condiciones hidrogeoquímicas de la Laguna de Píritu, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 170 pp.
- _____. 1995. *Caracterización ambiental: Calidad del agua y sedimento del ecosistema Puerto Pesquero de Cumaná, Edo. Sucre, Venezuela*. Trab. Asc. Prof. Asociado, Universidad de Oriente, Nueva Esparta. Venezuela, 71 pp.
- GONZÁLEZ, J. 1989. Producción primaria del fitoplancton y caracterización fisicoquímica de las aguas del Cayo Dos Mosquises, Los Roques, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 28(1&2):35-45.
- LIDZ, L., W. CHARM, M. BALL & S. VALDÉS. 1969. Marine Basins off The Coast of Venezuela. *Marine Science* 19(1):1-17.
- LONGA, I. & J. BONILLA. 1984. Caracterización química de los sedimentos de la interfase de la laguna de Unare. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 26:70-78
- MARTÍNEZ, G. 1996. *Algunos metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela*. Trab. Asc. Prof. Agregado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 73 pp.
- MUDARRA, O. 2000. *Hidrogeoquímica de la Ensenada de Puerto Escondido, Estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de oriente, Cumaná, Venezuela. 150 pp.
- OKUDA, T. 1964. Some problems for the determination of organic carbon in marine sediments. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 3(1&2):106-117.

- _____. & J. BENÍTEZ. 1985. Evaluación comparativa de las condiciones hidroquímicas en el sistema lagunar Tacarigua-Unare-Píritu. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 24(1&2):199-211.
- POCKLINGTON, R., & J. LEONARD. 1979. Terrigenous organic matter in sediments of the St. Lawrence Estuary and the Sanguenay Fjord, J. Fish. Res. Board. Can. 36:1250-1255.
- RAMÍREZ, C. 1999. *Geoquímica de los Sedimentos Recolectados en Trampas Ubicadas en Punta Arena, Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química, universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 74 pp.
- SADIQ, M. 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Enviroments*. Marcel Dekker. Ins. N. Y. 350 pp.
- SALAZAR, J., J. BONILLA & B. GAMBOA. 1986. Metales pesados y materia orgánica en los sedimentos superficiales de la laguna de Las Marites. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 25(1&2):137-154.
- UDO-CORPOVEN. 1992 Estudio Ambiental de las Costas del Edo Anzoátegui. Proyecto EACA. Área de José. Informe final. IOV-UDO. 14 pp.
- VALDERRAMA, C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorous in nature water. *Mar. Chem* 10:109-122.
- VALDERRAMA, H. 1981. A new spectrophotometric method for the determination of total nitrogen and phosphorous in sea water. *Mar. Res* 134-137.

RECIBIDO: 08 de mayo 2001

ACEPTADO: 14 de noviembre 2003