

ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE APLICADO AL GRADO TEXTURAL Y A LOS ASPECTOS GEOQUÍMICOS DE LOS SEDIMENTOS DEL ECOSISTEMA MARINO COSTERO DE JOSE, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.

JAIME BONILLA RUÍZ¹, JOSE SIMÓN FERMÍN² & CASTO GONZÁLEZ³

¹ Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.

² Instituto Universitario de Tecnología. Cumaná, Venezuela.

³ Unidad de Estudios Básicos. Departamento de Ciencias. Núcleo de Nueva Esparta UDO

RESUMEN: Se caracteriza, cuantifica y confirma la afectación contaminante causada al ecosistema Jose mediante las técnicas estadísticas multivariantes de componentes principales y de conglomerados, en base al comportamiento y distribución de las fracciones granulométricas: arena-limo-arcilla, en relación al contenido de la materia orgánica (C-org, N-org y razón C/N) e inorgánica (metales trazas: Cd, Cu, Cr, Pb y Zn) en sedimentos superficiales de 17 estaciones, bajo la influencia biogénica *in situ* y operacional de la industria petrolera y petroquímica, aunado al influjo antropogénico de afluentes residuales de origen exógeno divergente, que determina las fuentes que ocasionan el paulatino deterioro del ecosistema, principalmente por metales pesados. Los tres primeros componentes principales exhiben el 74,63% de la varianza total explicada. Se encontraron grupos bien definidos entre la granulometría y las especies químicas así como en las estaciones mediante el análisis de conglomerados. Existe elevada correlación estadística positiva y significativa entre las variables razón C/N-C-org ($r = 0,89$); N-org-Cu ($r = 0,75$); Zn-Cr ($r = 0,71$); Zn-arcilla ($r = 0,68$); con similar comportamiento entre Cu y C-org ($r = 0,62$); Cu-arcilla ($r = 0,61$); Limo-razón C/N ($r = 0,57$); N-org-C-org ($r = 0,56$) y limo- C-org ($r = 0,53$). Un comportamiento opuesto de significación negativa en la distribución de arena-arcilla ($r = -0,80$); Cu-arena ($r = -0,72$); Zn-arena ($r = -0,70$); Zn-Cd ($r = -0,69$); limo-arena ($r = -0,66$) y con tendencia similar C-org-arena ($r = -0,56$) y razón C/N-arena ($r = -0,53$). Infiriendo que el Pb sigue un comportamiento independiente, indicando esto el grado de contaminación industrial y doméstica asociada a las fracciones granulométricas y al contenido orgánico.

ABSTRACT: The multivariate statistical techniques Principal Components Analysis and Cluster Analysis characterize, quantify and confirm the polluting damage caused to the ecosystem Jose through the behavior and distribution of the granulometrical fractions: Sand-Slime Clay, regarding the content of the organic matter (C-org, N-org and C/N Ratio) and inorganic (traces metals: Cd, Cu, Cr, Pb and Zn) in shallow sediments of the 17 stations, under the biogenic *in situ* and operational influence of the oil and Petrochemical Industry, combined with the anthropogenical influx coming from the residual effluents whose origin is divergent exogenous, that determines the sources which spart the gradual deterioration of the ecosystem, mainly by heavy metals. The first three principal components show 74.63 % of the total variance explained. Well-defined groups were found between the granulometry and the chemicals species as well as in the stations by means of the analysis of conglomerates. There is a strong positive and significant statistical correlation among the variables: C/N ratio - C-org, ($r = 0.89$); N-org, - Cu ($r = 0.75$); Zn - Cr ($r = 0.71$); Zn - Clay ($r = 0.68$); with similar behavior between Cu - C-org, ($r = 0.62$); Cu - Clay ($r = 0.61$); Slime - C/N ratio ($r = 0.57$); N-org, - C-org, ($r = 0.56$) and Slime - C-org, ($r = 0.53$). An opposite behavior of negative significance on the distribution of Sand - Clay ($r = -0.80$); Cu - Sand ($r = -0.72$); Zn - Sand ($r = -0.70$); Zn - Cd ($r = -0.69$); Slime - Sand ($r = -0.66$); and with similar tendency C-org, - Sand ($r = -0.56$) and C/N ratio - Sand ($r = -0.53$). Inferring that the Pb follows an independent behavior, showing so the degree of industrial and household pollution linked to the granulometrical fraction and to the organic content.

INTRODUCCION

El litoral costero del Estado Anzoátegui, Venezuela, es base del asentamiento Petrolero y Petroquímico de la región Nor-Oriental y de intensa actividad pesquera, debido al gran potencial productivo biológico y orgánico de sus aguas y sedimentos, si se compara con la fertilidad del mar afuera; corroborado mediante las investigaciones Oceanográficas en su hidrodinámica, biogeoquímica, geodinámica, etc. que determinan y cuantifican su potencial (BONILLA & GONZÁLEZ, 1992; BONILLA 1993; BONILLA *et al.*, 1995; FERMÍN *et al.*, 1994; GÓMEZ 1996; FERMÍN & BONILLA, 1996 y FERMÍN *et al.*, 1998).

El pujante desarrollo industrial en el bioecosistema marino costero del Complejo Criogénico de Jose, aunado al crecimiento urbanístico y demográfico que trae el mismo, tiene como consecuencia el incremento de desechos con el drenaje de afluentes exógenos de origen antropogénico divergente. Estos desechos junto con la escorrentía límica continental que arrastra el flujo pluviométrico hacia este litoral costero, causándole gran deterioro. Por otra parte, el influjo de la corriente superficial y la surgencia costera que caracteriza la hidrodinámica de este ecosistema, traen hacia el litoral de Jose los desechos contaminantes de Bahía de Bergantín, de la ciudad de Pto. La Cruz, Guanta, y la Bahía de Bar-

celona que pueden estar incrementando la degradación del ecosistema (OKUDA 1981; GAMBOA & BONILLA, 1983; BONILLA *et al.*, 1985; GAMBOA *et al.*, 1986). El conocimiento y la cuantificación geológica y geoquímica de este ecosistema es importante para saber el grado textural y la fracción predominante. Así como la afectación por metales trazas tóxicos provenientes de las actividades humanas e industriales (SALOMONS & FORSTNER, 1984; LUOMA 1990; GONZÁLEZ 1991) y el exceso orgánico los cuales juegan papel predominante en el control sobre los cambios diagenéticos que ocurren en los sedimentos, así como el equilibrio redox, ecológico y en la biogeoquímica marina. Si consideramos hoy día el incremento y rápido desarrollo industrial, principalmente mediante el asentamiento petrolero y petroquímico. Así, el urbanístico y demográfico a que está y estará sometido el ecosistema litoral costero de Jose. Siendo los sedimentos un compartimiento abiótico de los ecosistemas acuáticos, son el receptáculo final de las descargas del influjo antropico (SALOMONS & FORSTNER, 1984; GONZALES 1991; BONILLA 1993 y BONILLA *et al.*, 1995). Es conocida la potencial peligrosidad que representan los metales trazas para la biota marina aún aquellos que son los considerados esenciales. Esto se explica por la asociación con la materia orgánica, contenido y distribución de estos metales trazas con el tamaño del grano en los sedimentos del litoral marino costero del criogenico de Jose (BONILLA 1993 y BONILLA *et al.*, 1995).

En esta investigación se caracteriza y detectan la afectación contaminante causada a este bioecosistema por metales trazas, de acuerdo a la fracción granulométrica, grano predominante y contenido geoquímico. Para este fin es necesario confirmar la degradación antropica causada a este bioecosistema litoral mediante las técnicas estadísticas multivariantes de componentes principales y de conglomerados, para cuantificar y detectar los parámetros que aporta el influjo exógeno de la fuente contaminante que afecta a los sedimentos de este bioecosistema.

ÁREA DE ESTUDIO

El litoral marino costero del criogenico de Jose se encuentra ubicado en el Estado Anzoátegui y delimitado latitudinalmente desde los $10^{\circ} 09' 06''$ hasta los $10^{\circ} 09' 00''$ de Lat. N y longitudinalmente, en la dirección este-oeste,

entre los $64^{\circ} 43' 06''$ y los $64^{\circ} 55' 00''$ de Long. W a nivel de las Isletas de Píritu Adentro y Afuera. (Fig. 1).

El litoral costero es el asentamiento del complejo industrial Criogénico de Oriente y la Petroquímica de Pequivén, además, en sus adyacencias se ubican las ciudades y poblados de Pto. Píritu, Barcelona, Guanta y Pto. La Cruz, además la escorrentía límnica del río Neverí que drena los desechos antropogénicos de origen doméstico, industrial y agrícola. El ecosistema bajo estudio se comunica, al noroeste con la masa de agua que recibe las descargas de efluentes exógenos de Bahía de Pozuelos y áreas adyacentes, a través del canal entre la Isla Borracha y el Morro de Barcelona, y hacia el suroeste y noroeste mediante el flujo direccional de la contracorriente, intensificada durante la época de lluvias recibe el influjo antrópico desde el complejo lagunar Píritu-Unare, aunado al de las costas de Pto. Píritu. (UDO-Corpoven 1990; BONILLA 1993 y BONILLA *et al.*, 1995).

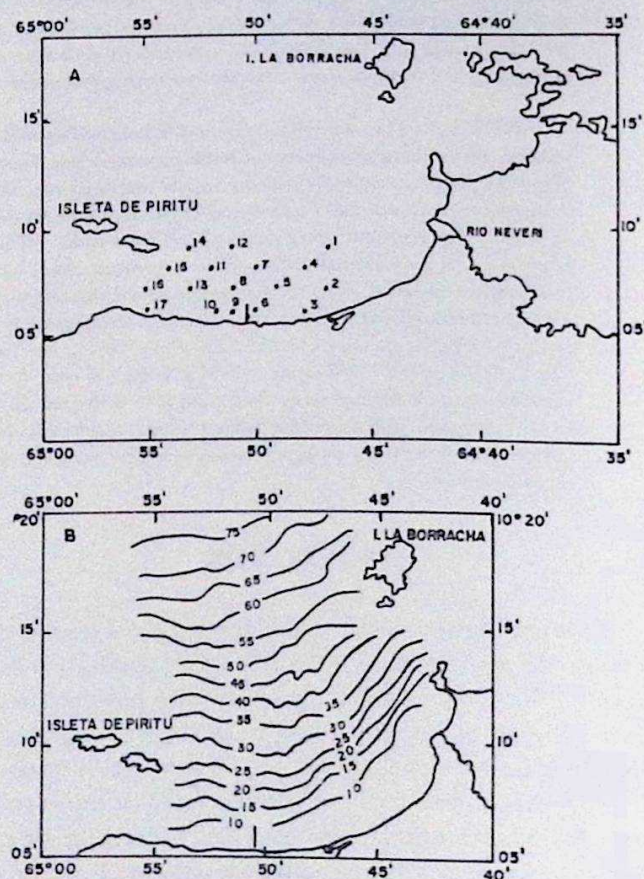


Fig. 1.- Mapa del bioecosistema marino costero del criogénico de Jose: a) Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimentos; b) Batimetría del área estudiada.

El ecosistema litoral costero de Jose se caracteriza por ser una zona desprotegida y de mar abierto, hidrodinamicamente con vientos alisios del E-NE y fuerte oleaje; delimitado al norte por la isobata de 30 mts. de profundidad con una suave pendiente. Esta región litoral es el receptor del flujo de afluentes antropogénicos de divergente índole de contaminantes propios del área y regiones circunvecinas, tomando en consideración la residencia temporal y la hidrogeodinámica de sus aguas y sedimentos (OKUDA, 1981; BONILLA *et al.*, 1995) caracterizados geoquímicamente por el predominio de la fracción fina arcilla-limosa en un 81,96%.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sedimentos superficiales del litoral costero de Jose fueron obtenidos con una draga tipo Diez-Laffont de 0,02m de área en 17 estaciones (Fig. 1), durante los cruceros oceanográficos GII-8901 al GII-8909 a bordo del buque Guaiquerí II del Instituto Oceanográfico de Venezuela, de la Universidad de Oriente. El sedimento se preservó refrigerado hasta su análisis, se deshidrató mediante liofilización por 72 horas a -50 °C en un liofilizador Vitris-Trap 10-100 y pulverizó mecánicamente en un mortero eléctrico Fisher.

ANÁLISIS GEOLÓGICO

Se determinó mediante las técnicas sedimentológicas clásicas para cuantificar la granulometría y la textura según ROA-MORALES & BERTHOIS 1975, descritas por BONILLA 1993 y BONILLA *et al.*, 1995.

ANÁLISIS GEOQUÍMICO

CARBONO ORGÁNICO: mediante el método de combustión húmeda con ácido sulfocrómico 0,4N como agente oxidante y corrigiéndose el efecto causado por los cloruros de acuerdo a OKUDA 1964.

NITRÓGENO ORGÁNICO: Se utilizó la técnica clásica semimicro Kjeldahl, como en BONILLA & LIN (1979) y BONILLA (1993).

METALES TRAZAS: Se cuantificó mediante el método de digestión total de CARMODY *et al.*, 1973, por espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo 403.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO: Se utilizaron las técnicas Multivariantes: análisis de componentes principales y de conglomerados (Cluster Analysis): ANDERBERG 1973; MORRISON 1976; MARDIA *et al.*, (1979). Ampliamente utilizados como en: GONZÁLEZ *et al.*, 1985, 1993; GUTIÉRREZ-GALINDO *et al.*, 1994; BONILLA 1993; FERMÍN *et al.*, 1998 y FERMÍN & BONILLA, 1996. El análisis de Componentes Principales es aplicado para reducir la dimensión del fenómeno, logrando cuantificar y definir las variables (fracciones texturales y componentes geoquímicos) más pulutantes en los sedimentos superficiales del litoral marino costero de Jose, para conocer en forma global la acción degradante. Las unidades experimentales son las 17 estaciones del muestreo de sedimento.

Mediante la aplicación del análisis de conglomerados se intenta establecer agrupaciones interrelacionadas entre la fracción granulométrica, contenido de materia orgánica, metales trazas y/o estaciones; siendo este método de naturaleza jerárquica lo que facilita la comparación de los diferentes grupos, lográndose cuantificar el grado de asociación dentro de cada una de las agrupaciones obtenidas, mediante el método de Ward. Para las estaciones se aplicó la distancia euclidiana como la medida de disimilitud, y para el grado textural y componentes geoquímicos, el coeficiente de correlación de Pearson como medida de similitud. Los análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando los paquetes estadísticos STATGRAPHICS versión 6.0 y el SYSTAT versión 5.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El lecho marino del litoral costero del Complejo Criogénico de Jose, se caracteriza como un ente geológico de moderada actividad con diversos ambientes bio-sedimentarios dentro de un sistema acuático hidrodinámico y geoquímico que lo estabiliza (UDO-Corpoven 1990; BONILLA, 1993; BONILLA *et al.*, 1995; FERMÍN *et al.*, 1998). Los sedimentos de este ecosistema son una mezcla compleja de material orgánico e inorgánico, de origen biogénico y antropogénico, exógeno de diversa índole que favorece los procesos bióticos y abióticos. En la tabla 1, se aprecia que la fracción predominante es el grano fino arcilla-limo con una media 81,96% y dentro de esta fracción fina prevalece la arcilla con 57,04% y la arena con media de 14,96%. El mayor valor de grano fino arcilloso (78,70%) se encontró en la Est. 4, al oriente del muelle de Jose, la fracción limosa (55,90%) en la Est. 9, en la parte oeste en el muelle de Jose y la arenosa (72,40%) en la Est. 15, en el litoral de las Isletas de Píritu Adentro y Afuera.

Tabla 1. Composición granulométrica, media, mínimo, máximo, desviación standar (s) y coeficiente de variación (CV) en sedimentos del ecosistema marino-costero de Jose.

EST.	ARENA	LIMO	ARCILLA	CLASIFICACION
1	0,10	25,10	74,80	ARCILLA-LIMO
2	18,20	29,30	52,50	ARCILLA-LIMO-ARENA
3	42,80	12,40	44,80	ARCILLA-ARENA
4	0,9	21,40	78,70	ARCILLA-LIMO
5	4,10	22,00	73,00	ARCILLA-LIMO
6	1,00	32,50	66,50	ARCILLA-LIMO
7	0,30	26,30	73,40	ARCILLA-LIMO
8	10,60	21,50	67,50	ARCILLA-LIMO
9	0,70	55,90	43,40	LIMO-ARCILLA
10	4,90	51,30	43,80	LIMO-ARCILLA
11	20,50	28,10	50,20	ARCILLA-LIMO-ARENA
12	0,70	24,90	74,40	ARCILLA-LIMO
13	36,40	7,00	22,60	ARENA-ARCILLA
14	5,20	22,70	72,10	ARENA-LIMOSA
15	72,40	3,60	20,40	ARENA-ARCILLOSA
16	27,60	10,00	49,20	ARCILLA-AENOSA
17	7,90	29,70	62,40	ARCILLA-LIMOSA
$\bar{X}$	14,96	24,92	57,04	ARCILLA-LIMOSA
MINIMO	0,10	3,60	20,40	
MAXIMO	72,40	55,90	78,70	
S	19,927	13,601	18,082	
CV(%)	113,212	54,571	31,700	

Es interesante resaltar la obtención de altos valores del coeficiente de variación (CV) en las fracciones granulométricas tipo arena (133,21%), limo (54,57%) y arcilla (31,70%), lo que está indicando que estos sedimentos presentan una gran heterogeneidad entre las estaciones. En la Tabla 2, se representa el contenido de la materia orgánica que viene a constituir la fuente energética primaria del sistema sedimentario, fue ampliamente reseñada en BONILLA 1993 y BONILLA *et al.*, 1995. El valor medio de C-org. (1,94%) es bajo a pesar del grano fino predominante, si lo relacionamos con las concentraciones altas de C-org. para el mismo tipo de sedimento (arcilla - limo), encontrado en los ecosistemas lagunares, ensenadas, bahías, golfo y cuenca de Cariaco (BONILLA & LIN, 1979; BONILLA 1982; BONILLA & GONZÁLEZ, 1992 y FUENTES *et al.*, 1997), indicativo de la intensa actividad abiótica aunado a la geodinámica que tipifica al ecosistema.

El contenido de N-org. (0,215%) es relativamente alto y de una manera uniforme en todo el ecosistema, excepto en la Est. 2, con bajo valor (0,052%) al oriente del muelle de Jose, indicativo de un gran aporte de especies nitrogenadas de origen biogénico *in situ* y exógeno de diversa índole

antropogénico. El coeficiente de variación (CV) es relativamente alto y fluctuante entre el C-org. (54,07%), N-org. (27,85%) y la razón C/N (44,01%), indicando cierto grado de heterogeneidad.

Tabla 2. Contenido orgánico, media, mínimo, desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV) en sedimentos del ecosistema marino costero de Jose.

EST.	MATERIA ORGANICA		C/N
	C-ORG. %	N-ORG. %	
1	1,28	0,224	9,3
2	0,357	0,052	6,9
3	0,982	0,149	6,6
4	3,13	0,261	12,0
5	1,23	0,221	5,6
6	3,91	0,249	15,7
7	2,22	0,153	14,5
8	1,56	0,201	7,8
9	3,72	0,243	15,3
10	1,52	0,215	7,0
11	3,26	0,242	13,5
12	1,73	0,282	6,1
13	0,983	0,212	4,7
14	1,68	0,272	6,2
15	0,579	0,152	3,8
16	1,68	0,285	5,9
17	2,35	0,248	9,5
$\bar{X}$	1,94	0,215	8,9
MINIMO	0,357	0,052	3,8
MAXIMO	3,91	0,285	15,7
S	1,051	0,060	3,894
CV(%)	54,069	27,854	44,012

En la Tabla 3 se representa el contenido absoluto de metales trazas que constituyen uno de los más importantes aspectos de la polución de los ambientes marino costeros, en especial en el litoral de Jose por ser el asentamiento del pujante Complejo Industrial Petrolero y Petroquímico. Además, recibe la escorrentía límica del río Neverí y divergentes efluentes domésticos y agrícolas de las poblaciones y sembradíos aledaños que vienen a constituir las fuentes antrópicas primarias del incremento polutante del ecosistema. Según la Tabla 3, los valores medios de metales trazas son altos, si se compara con sedimentos de regiones contaminadas y no contaminadas (MOGOLLÓN *et al.*, 1989; FERGUSSON 1990; MUHAMAD 1992; BONILLA 1993 y BONI-

LLA *et al.*, 1995), se establecen los valores naturales de metales trazas comparando con otros ecosistemas y ampliamente se determinan los factores del enriquecimiento antrópico. Encontrándose en los sedimentos de Jose el valor más alto de Cd (2,10 µg/g) en la Est. 13, al noroeste del muelle de Jose, el de Cu (18,24 µg/g) en la Est. 17, al oeste del muelle y similar valor de Cu (18,19 µg/g) en la Est. 1, frente a la desembocadura del río Neverí; el valor elevado de Cr (96,50 µg/g) en la Est. 7, al norte del muelle de Jose, y concentraciones comparables en las Ests. 4, (81,83 µg/g), 5 (85,12 µg/g), 6 (81,77 µg/g), 8 (81,23 µg/g), 14 (92,42 µg/g) y 16 (90,66 µg/g) de diversa índole antrópica en especial, de las industrias petrolera y petroquímica; el Pb (20,21 µg/g) en la Est. 1, frente a la desembocadura del río Neverí y el Zn (168,14 µg/g) en la Est. 4, al noreste del muelle. El coeficiente de variación (CV) es relativamente elevado y diferente en los metales que están contaminando el ecosistema bajo estudio, los cuales presentan gran variabilidad destacándose en orden decreciente de afectación el Cd (53,27%); Cr (52,18%); Zn (41,00%); Pb (34,49%) y Cu (27,47%), indicando cierta tendencia a la heterogeneidad y señala que la fuente de degradación de los sedimentos del bioecosistema del litoral costero de Jose por metales tóxicos es la antropogénica de aporte industrial (petrolero, petroquímico), urbana, la escorrentía del río Neverí y el flujo unidireccional que acarrea los desechos de la bahía de Barcelona y áreas adyacentes (UDO - CORPOVEN, 1990).

Tomando en consideración la línea base del alto contenido de metales pesados reportados para sedimentos costeros del Estado Anzoátegui según MOGOLLON *et al.*, 1989, causado por las diferentes actividades humanas, que inciden en los niveles de contaminación existentes. Por tal razón los datos de esta investigación reflejan el grado de deterioro de los sedimentos del litoral costero de Jose y de acuerdo al contenido de metales trazas, se ubican en orden creciente Cd < Pb < Cu < Cr < Zn, señalando el grado de toxicidad y la predominancia del metal pesado contaminante; lo cual determina que la fuente antropogénica de aporte de metales pesados al ecosistema es principalmente atribuido a los afluentes industriales (complejo petrolero - petroquímico) y urbano, aunado a la escorrentía del río Neverí que transporta diversos materiales antrópicos (industriales y domésticos).

Es importante resaltar la alta variabilidad en la distribución y en las concentraciones que presentan los metales trazas en los sedimentos del ecosistema de Jose (BONILLA *et*

al., 1995). Según la tabla 3, esta evidenciando que los niveles de metales pesados en este ecosistema responden a diversos factores, tanto naturales como de origen antropogénico, que demarcan los niveles de contaminación y las diferentes fuentes polulantes que los incorporan al

Tabla 3. Concentración de metales trazas, media, mínimo, máximo, desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV) en sedimentos del ecosistema marino costero de Jose.

ESTS.	METALES		TRAZAS µg/g		
	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn
1	0,75	18,19	41,77	20,21	158,58
2	0,65	7,50	25,55	9,91	81,73
3	0,54	4,71	10,15	6,41	56,96
4	0,31	16,71	81,83	8,17	168,14
5	0,43	14,81	85,12	11,70	147,78
6	0,76	17,70	81,77	16,96	148,79
7	0,76	16,78	96,50	13,40	161,80
8	0,76	14,23	81,23	16,96	135,99
9	0,43	14,23	65,10	13,44	138,95
10	0,65	14,18	63,66	16,90	128,63
11	1,53	15,26	27,80	15,63	63,72
12	1,07	16,79	42,46	16,98	77,05
13	2,10	13,35	19,43	16,16	35,82
14	0,76	17,08	92,42	16,92	133,50
15	0,76	8,17	49,28	16,95	67,58
16	1,30	15,81	90,66	5,74	65,75
17	1,52	18,24	16,85	5,72	70,18
$\bar{X}$	0,89	14,34	57,16	13,42	108,25
MINIMO	0,31	4,71	10,15	5,72	35,82
MAXIMO	2,10	18,24	96,50	20,21	168,14
S	0,473	3,79	29,828	4,628	44,384
CV %	53,268	27,4743	52,178	34,489	41,001

Se determina de acuerdo a las elevadas concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn), como las estaciones más críticas: las Ests. 4 - 8, lo que es debido a que reciben diversos efluentes de altas cargas residuales antrópicas: industrial - urbana - escorrentía limnica; las cuales están localizadas al norte y oriente del muelle de Jose, de mayor incidencia del flujo superficial procedente de la bahía de Barcelona aunado a la descarga del río Neverí (MOGOLLON *et al.*, 1989; BONILLA, 1993; BONILLA *et al.*, 1995).

Los coeficientes señalados en la matriz de correlación que se representan en la Tabla 4, corroboran la problemática planteada y muestran una alta correlación entre la frac-

ción orgánica representada por la razón C/N con C-org. ($r = 0,89$; $p=0,00001$) y así el N-org. con el Cu ($r = 0,75$; $p=0,0006$); y se correlacionan el C-org. con el Cu ($r = 0,62$; $p=0,0084$) y se asocia con el N-org. ($r = 0,56$; $p = 0,0185$) y la fracción fina limo ($r = 0,53$; $p=0,0299$); así mismo la razón C/N se correlaciona con la fracción limo ($r = 0,57$; $p=0,0171$), mientras el Zn esta altamente asociado con el Cr ($r = 0,71$;) y con la fracción arcillosa ($r = 0,68$; $p=0,0028$), también el Zn se encuentra opuestamente correlacionado con la fracción arena ($r = -0,70$; $p=0,0019$) y el metal Cd ($r = -0,69$; $p=0,0021$). De la misma manera, las fracciones granulométricas arcilla y arena se asocian de forma opuesta con un coeficiente de correlación de $r = -0,80$ y un p -valor de 0,0001; el Cu se correlaciona positivamente con la arcilla ($r = 0,62$; $p=0,0090$) y opuestamente se asocia con la arena ($r = -0,72$; $p=0,0011$). Se puede señalar que los pares de variables presentan valores de $p < 0,05$, indicativo de que las correlaciones son diferentes de cero, estadísticamente significativa en el nivel de 95% de confianza.

Tabla 4. Matriz de correlación entre los valores granulométricos y contenido orgánico en el sedimento del ecosistema marino de Jose.

	ARC	AR	Cd	C-org	C/N	Cu	Cr	LM	N-org	Pb	Zn
ARC	1,000										
AR	-0,798	1,000									
Cd	-0,382	0,262	1,000								
C-org	0,351	-0,555	-0,078	1,000							
C/N	0,336	-0,573	-0,187	0,892	1,000						
Cu	0,612	-0,721	-0,187	0,617	0,419	1,000					
Cr	0,457	-0,409	-0,443	0,281	0,234	0,461	1,000				
LM	0,200	-0,661	-0,334	0,627	0,569	0,287	0,129	1,000			
N-org	0,314	-0,393	0,221	0,564	0,163	0,748	0,334	0,114	1,000		
Pb	-0,001	-0,113	0,025	0,065	0,030	0,239	0,128	0,156	0,087	1,000	
Zn	0,680	-0,701	-0,690	0,448	0,501	0,485	0,710	0,458	0,151	0,268	1,000

ARC=ARCILLA; AR=ARENA; Cd=CADMIUM; C-ORG=CARBON ORGANICO; C/N; Cu=COBRE; Cr=CRÓMO; LM=LIMO; N-ORG=NITRÓGENO ORGANICO; Pb= PLOMO; y Zn=ZINC.

Con el objeto de cuantificar y determinar la condición ambiental del ecosistema, con relación al efecto contaminante causado por el drenaje exógeno de origen antropogénico, caracterizados principalmente por un mayor aporte y contenido de materia orgánica y de metales trazas tóxicos con relación a la fracción granulométrica predominante, se utilizó, como técnica estadística, el análisis de Componentes Principales. Así, en la tabla 5 se representan las variables estudiadas, en función de los componentes principales, siguiendo el criterio propuesto por MORRISON (1976), de que el número de componentes principales se puede reducir, hasta tal punto, que en conjunto expliquen más del 75%. Generalmente son los primeros cuatro o cinco componentes de la varianza explicada. En esta investigación, se

utilizaron los tres primeros componentes principales de mayor interés, los cuales permiten explicar la variabilidad de la varianza.

Por tal razón, estos componentes principales explican el 74,63% de la varianza del comportamiento del conglomerado de las variables geológicas y geoquímicas del ecosistema.

El primer componente (Cp1), es el que tiene la varianza más alta y por lo tanto la mayor capacidad explicativa de los datos; en este caso, alcanza el 45,29% de la varianza explicada de la población total de las estaciones del muestreo de sedimentos. El primer componente (Cp1), constituye un contraste entre arena y Cd (con signo negativo -) con las demás variables geológicas y geoquímicas de este componente, las cuales tienen el signo del coeficiente positivo (+). Es interesante destacar que la ponderación absoluta de las variables son altas, indicando esto que, aquellas estaciones que tengan valores elevados de estos componentes, serán las estaciones más críticas ya que están altamente polucionadas y son indicadores de la potencialidad contaminante en términos de los niveles de metales trazas encontrados, tales como $Zn > Cu > Cr > Pb > Cd$.

El segundo componente (Cp2), constituye la existencia de una bipolaridad entre las variables granulométricas y los metales trazas Zn y Cr con el resto de las variables de materia orgánica e inorgánica, con un 16,83% de varianza explicada.

Tabla 5. Componentes (n=11) de las fracciones granulométricas y de las variables geoquímicas.

	COMPONENTES					PRINCIPALES					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ARENA	-0,889	-0,002	0,009	0,061	0,418	0,056	-0,053	-0,050	0,122	0,034	0,010
LIMO	0,616	-0,135	-0,564	0,201	-0,226	-0,419	0,109	0,024	0,063	0,024	0,009
ARCILLA	0,749	-0,142	0,539	-0,276	-0,335	0,253	-0,143	0,115	0,061	0,027	0,014
C-org	0,773	0,331	-0,407	-0,070	0,299	0,086	-0,148	0,013	-0,012	-0,023	0,048
N-org	0,517	0,659	0,249	-0,088	0,167	-0,325	-0,262	0,016	-0,036	0,023	-0,012
C/N	0,708	0,658	-0,580	-0,059	0,228	0,301	0,057	0,043	0,003	0,015	-0,043
Cd	-0,378	0,856	-0,008	0,064	-0,131	0,145	0,279	0,011	-0,0043	0,034	0,019
Cu	0,781	0,511	0,266	0,028	-0,097	0,043	0,120	-0,141	0,107	-0,030	-0,011
Cr	0,625	-0,251	0,486	-0,007	0,437	-0,114	0,302	0,122	0,006	-0,001	0,006
Pb	0,199	0,058	0,157	0,947	-0,024	0,133	-0,112	0,066	-0,000	-0,003	-0,002
Zn	0,837	-0,453	0,155	0,116	0,066	0,078	0,013	-0,203	-0,064	0,034	0,011
varianza explicada	4,982	1,851	1,376	1,05	0,743	0,512	0,332	0,099	0,041	0,007	0,006
% varianza explicada	45,287	16,825	12,514	9,561	6,757	4,651	3,015	0,899	0,376	0,064	0,051

El tercer componente (Cp3), conforma un contraste entre la correlación de la fracción limo y las componentes C-org, razón C/N y el metal traza Cd, con el resto de las variables del grado textural, materia orgánica y metales trazas, con un 12,51% de varianza explicada.

En la Fig. 2, la correlación entre las variables de las fracciones granulométricas predominantes y de los parámetros de la materia orgánica (C-org, N-org y razón C/N) e inorgánica (metales trazas: Cd, Cu, Cr, Pb y Zn), y los dos primeros componentes principales; está reafirmando la existencia de tres grupos de variables, bien definidos y diferenciados, estando la fracción arena, conformando un grupo de correlación independiente. El primero, conformado por los metales trazas Zn, Cr y las fracciones texturales limo y arcilla; en el segundo, se agrupan, el metal pesado Pb y Cu con la materia orgánica (C-org y razón C/N); mientras que el tercer grupo, por el metal traza Cd y N-org, buenos indicadores del grado de afectación contaminante de los sedimentos del Litoral Costero de Jose tanto de tipo Industrial como Urbana (doméstica); formando agrupaciones asociativas de metales trazas con la fracción fina y materia orgánica (BRYAN & LANGSTON 1992; GONZÁLEZ *et al.*, 1993; BONILLA 1993; GUTIERREZ-GALINDO *et al.*, 1994; BONILLA *et al.*, 1995; y FERMÍN & BONILLA 1996), confirmando la degradación del ecosistema por diferentes fuentes exógenas principalmente de origen antropogénico de diversas índoles.

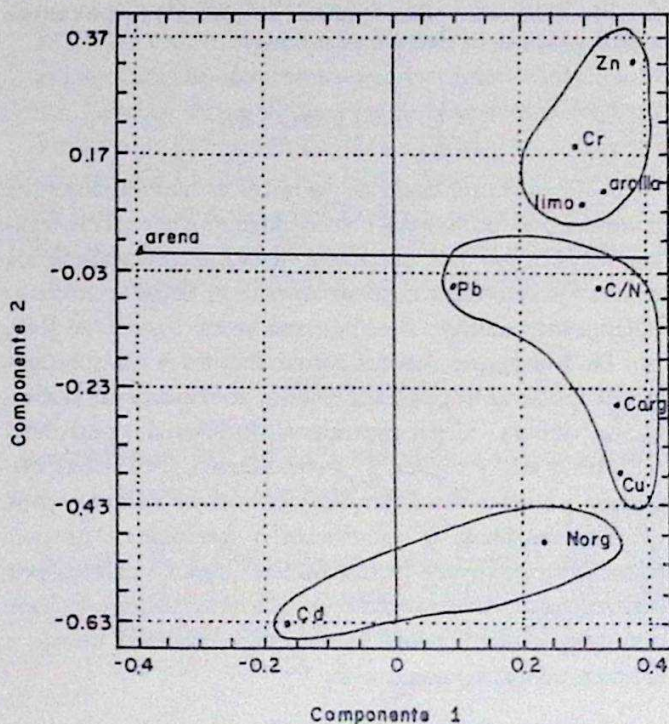


Fig. 2. Correlación entre las fracciones granulométricas: arena, limo y arcilla, con las variables geoquímicas en los dos primeros componentes principales.

La figura 3, es la representación de agrupaciones asociativas formada mediante la correlación de las 17 estaciones, mediante la técnica estadística del "Biplot" y los dos primeros componentes principales, donde se integran en tres grupos de la siguiente manera: el primero formado con las Ests. 2 y 3, al oeste de la desembocadura del río Neverí y al oriente del muelle de Jose y la Est. 15, en el litoral costero de las Isletas de Píritu Adentro y Afuera, que probablemente reciben la misma fuente exógena de contaminantes. El segundo grupo formado por la asociación de Ests. 1, 4-10 y 14 ubicadas desde el muelle de Jose en su parte oriental y occidental o hacia el mismo en un canal direccional desde el norte a nivel de la desembocadura del río Neverí y la Est. 14, en el nororiente de las Isletas de Píritu con una fuente contaminante común que reciben el efecto exógeno de origen antropogénico de la bahía de Barcelona y áreas aledañas, escorrentía límnic del río Neverí y los efluentes *in situ* propios de la petrolera y petroquímica. El tercer grupo conformado por la asociación de las Ests. 11-13, 16 y 17 ubicadas hacia el norte y en la parte mas oeste del muelle de Jose, este grupo de estaciones tiene una característica diferente al anterior donde prevalece el influjo antropogénico aledaño proveniente del complejo lagunar Píritu-Unare y el de las costas de Píritu, mediante la dirección unidireccional predominante de la corriente y contracorriente superficial en sentido este-oeste (BONILLA, 1993 y BONILLA *et al.*, 1995) y del influjo antrópico *in situ* aportado por el complejo petrolero Criogénico de Oriente y la petroquímica de Pequiven.

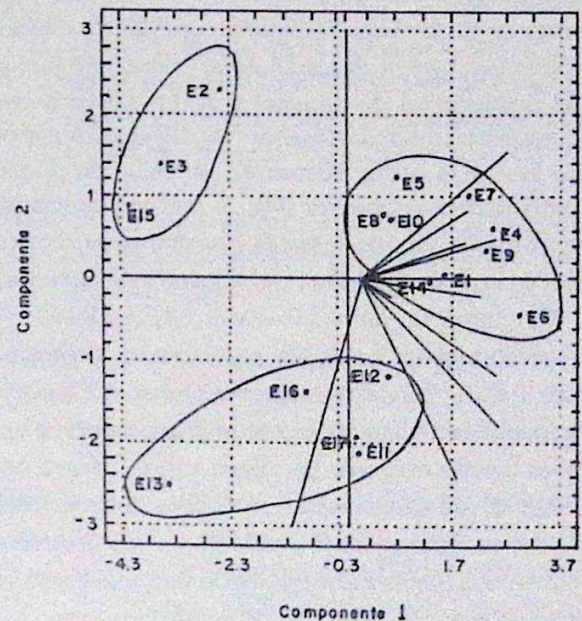


Fig. 3. Correlación entre la asociación grupal de estaciones mediante el análisis Biplot en las dos primeras componentes principales.

Con el análisis estadístico de conglomerado se establecieron divergentes agrupaciones bien definidas entre las variables geológicas (fracciones granulométricas) y componentes geoquímicos (materia orgánica e inorgánica) y/o estaciones. Considerando que la técnica propuesta es de naturaleza jerárquica se compararon los diversos grupos obtenidos y se logró cuantificar el grado de asociación existente entre la agrupación de las variables geológicas y geoquímicas y/o estaciones. Para las fracciones granulométricas, la materia orgánica e inorgánica se utilizó el Coeficiente de Correlación de Pearson como medida de similitud y para las estaciones la distancia euclidiana como medida de disimilitud. El resultado de asociación obtenido del comportamiento de componentes principales en parte es corroborado en el dendograma de similitud en la Fig. 4 (A y B). Se muestra en el dendograma de la Fig. 4A las diversas asociaciones existentes, donde la distribución del metal pesado Cd y la especie química N-Org. se encuentran asociadas con el contenido de C-Org. en los sedimentos superficiales del ecosistema criogénico de Jose, de igual forma el metal traza Cu con el Pb. Existe también una estrecha asociación entre el metal Cd, las especies N-Org. y C-Org. con la razón C/N, de igual manera sucede la agrupación entre los metales trazas Pb y Cu con la razón C/N, de similar comportamiento en la relación con la fracción limosa. La fracción arcilla se asocia con el comportamiento del metal pesado Cr. Estando la fracción arena y el metal pesado Zn con tendencia a una relación independiente, de cierta afinidad con las agrupaciones anteriores. Para las estaciones el algoritmo de la distancia Euclidiana entre las 17 estaciones de sedimentos superficiales del Litoral Costero de Jose produce el dendograma de similitud con dos asociaciones de tendencia similar interrelacionadas (Fig. 4B) que no corrobora exactamente el comportamiento obtenido en el análisis de Componentes Principales (Fig. 3) con tres asociaciones intercomunicadas donde se puede observar que existe coincidencia en un solo diagrama del Cluster de agrupación (Fig. 4B) compuesto de las estaciones 1,4,7,6,5,8,14,10 y 9, siendo diferentes en las demás asociaciones, definidas de acuerdo a su localización geográfica, geomorfología y su hidrogeodinámica que tipifica el ecosistema, aunada a las divergentes fuentes exógenas de origen antropogénico de diversas índoles que acarrearán gran cantidad de material detrítico orgánico e inorgánico bioacumulable en sus sedimentos costeros en una forma incontrolable lo cual trae como consecuencia un marcado deterioro del ecosistema, como lo reflejan las especies químicas (BONILLA *et al.*, 1995; FERMÍN & BONILLA, 1996).

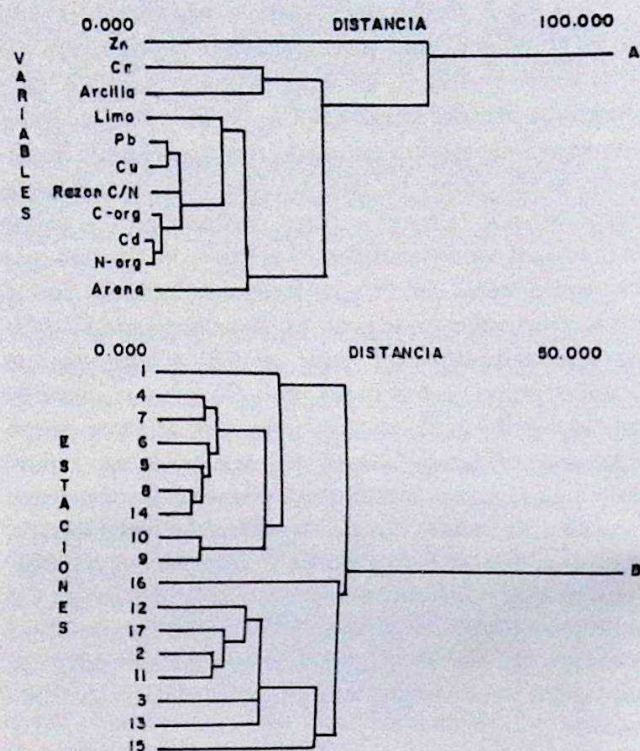


Fig. 4. Dendogramas de similitud: a) entre las fracciones granulométricas y las concentraciones de la materia orgánica e inorgánica y b) geográficamente entre las estaciones de muestreo del sedimento.

CONCLUSIONES

1.- El uso combinado de las técnicas multivariantes de componentes principales y conglomerados en esta investigación, permitió determinar una mejor interpretación de los resultados y evaluar cualitativamente el comportamiento deteriorante causado al ecosistema litoral costero de Jose, por las divergentes fuentes contaminantes *in situ* y exógenas de índole antropogénica diversa, principalmente la afectación debida al procesamiento industrial: petrolero (CORPOVEN y filiales) y petroquímico (PEQUIVEN), aunado a la escorrentía límnica continental y de desechos urbanos, mediante la cuantificación geológica y geoquímica, principalmente por la acción tóxica causada por metales trazas, donde se define estaciones críticas; esto hace necesario vigilar la evolución de este ecosistema, debido a la potencialidad contaminante.

2.- En el lecho marino del litoral costero de Jose granulométricamente predomina el grano de textura fina, arcilla - limo (81,96 %) con un CV alto, indicando una gran heterogeneidad entre las estaciones.

3.- El C-org. es de bajo a moderado con el N-org. relativamente elevado, esto debido a su hidrodinámica y al mayor influjo de material exógeno antropogénico de origen tanto industrial como doméstico, confirmando la intensa actividad biótica y abiótica, con un C V de tendencia a la heterogeneidad.

4.- El divergente influjo de metales trazas *in situ* y exógeno de origen antropogénico industrial y doméstico, de acuerdo a su contenido absoluto en los sedimentos superficiales del litoral costero de Jose, tiene un comportamiento decreciente en el orden siguiente: Zn > Cr > Cu > Pb > Cd y un C V con tendencia a la heterogeneidad, indicando estaciones críticas de acuerdo al grado de deterioro antrópico, donde se evidencia el influjo del complejo petrolero y petroquímico.

AGRADECIMIENTO

Al profesor G. CEDENO como Coordinador Científico del Proyecto Ambiental de los Ecosistemas Marinos Costeros de Bahía de Bergantín y Jose. Al personal científico y técnico del departamento de oceanografía del INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE VENEZUELA, por sus invalorable contribuciones y confiabilidad de los datos. Especial reconocimiento a A. MÁRQUEZ (T.S.U) y a C. VILLARROEL (dibujante) del IUT - CUMANÁ. A la empresa petrolera CORPOVEN por el financiamiento y logística para la obtención y utilización de la data y a todas aquellas personas que de una otra forma nos incentivaron haciendo posible la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- ANDERBERG, M. 1993 Cluster Analysis Applications. Academic Press, New York, 248 pp.
- BONILLA, R. J. 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 Multivariantes en el Bioecosistema Marino Costero de Jose. Edo. Anzoátegui. Venezuela. *Trab. Asc. Prof.*
- Titular, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 231 pp.
- & A. GARCÍA. 1975. Estudio de algunos parámetros químicos en los sedimentos de la laguna de Campoma. *Laguna*. 35-36:55-60
- & A.L. LIN. 1979. Materia orgánica en los sedimentos superficiales de los Golfos de Paria y Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, 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): 81-91
- G. CEDENO O. & B. GAMBOA. 1986. Características químicas en sedimentos de la Bahía de Pozuelos y Areas Adyacentes. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 25(1&2): 215-231.
- J. S. 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.
- 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.
- CARMODY, D. J., J. B. PEARCE & C. YASSO. 1973 Trace Metals in sediments of New York. *Bight. Mar. Poll. Bull.* 4 (9): 132 - 135 .
- HARRIS, R. J. 1993. Multivariate Analysis of Variance. In: L. k. Edward. *Applied Analysis of Variance in Behavioral Science*. NY. Marcel Dekken. 255-295 pp.
- FERMÍN, J. & J. BONILLA. 1996. Aplicación de Análisis Estadísticos Multivariantes al contenido de Metales Pesados en sedimentos de la Bahía de Bergantín, Edo. Anzoátegui, VENEZUELA. III Congreso Científico de la Universidad de Oriente. Maturín, Estado Monagas. *Saber Suple.* 27-28.

- FERGUNSON, J. E. 1990. *The Heavy metal elements Chemistry. Environmental Impact and Health Effective*. Pergamon Pres. N. Y. 165 pp.
- FUENTES, M. V., J. BONILLA. & J. S. FERMÍN. 1997. Algunas Características químicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Estado 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. CEDENO. 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.
- GONZÁLEZ. H. 1991. Heavy metals in litoral Deposits of Habana City. *Biogeochemistr.* 14: 113-128.
- L. LERA & I. TORRES. 1993. Metales Pesados en Bahías Cubanas. Excedentes de Episodios de Ozono. Nitratos en aguas subterráneas. Monitoreo Remoto del ambiente. *Centro de Investigaciones en Matemáticas. AC. Cuba.* 1: 1-17.
- GUTIÉRREZ-GALINDO, E. FLORES-MUZ., G. ORTEGA-LARA. V. & VILLAESCUSA-CELEYA. J. A. 1994. Metales pesados en sedimentos de la Costa Fronteriza Baja California (Mexico), California (EUA). *Ciencias Marinas* 20 (1): 105-121.
- MORRISON. J. 1976. *Multivariate Statistical Methods*. Mc Graw-Hill Kogakusha. Ltd. 415.pp.
- MARDIA, K.V., J. T. KENT & J. M. BIBLEY 1979. *Multi-variate Analysis*. Academic Press. London. 521 PP.
- MUHAMAD, S. 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*. Marcel Dekker. Ins. N. Y. 350 pp
- OKUDA, T. 1981. Análisis Hidroquímico de la Bahía de Pozuelos y sus Areas Adyacentes. Venezuela. *Bol Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente* 20 (1 & 2): 11-22.
- ROA-MORALES, P. & L. BERTHOS. 1975. *Manual de sedimentología*. Caracas. Venezuela. 303 pp.
- SALOMONS, W. & U. FORSTNER. 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer. Berlin Heidelberg. 349 pp.
- UDO-CORPOVEN, 1990. *Estudio Ambiental del Ecosistema Marino de la Bahía de Bergantín y Area de Jose*. Informe Final. IOV-UDO. Tomo (I & II): 198 y 180 pp.