

**CARACTERIZACION REGIONAL DE LA LAGUNA DE CAIMANERO,
SINALOA, MEXICO,
A TRAVES DE ALGUNAS VARIABLES GEOQUIMICAS**

**REGIONAL CHARACTERIZATION OF THE CAIMANERO LAGOON,
SINALOA, MEXICO,
THROUGH SOME GEOCHEMICAL VARIABLES**

Guadalupe de la Lanza
Miguel Rodríguez Medina

Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-153
04510 México, D.F., México

de la Lanza, G. y Rodríguez Medina, M. (1990). Caracterización regional de la Laguna de Caimanero, Sinaloa, México, a través de algunas variables geoquímicas. Regional characterization of the Caimanero Lagoon, Sinaloa, Mexico, through some geochemical variables. *Ciencias Marinas*, 16(3): 27-44.

RESUMEN

La diversidad de factores ambientales, como el clima, pueden intervenir en la química de los sedimentos de la Laguna de Caimanero e imprimir una heterogeneidad espacial y temporal, aparentemente relativa; algunas variables conservativas o no (amonio, salinidad, DQO y porcentajes de agua), fueron empleadas para corroborarlo. La diferencia entre las áreas permanentemente humectadas (lluvias) y desecadas (estiaje), fue definida en un 91.9% por el contenido de amonio asociado con la salinidad; la variación temporal fue determinada por la volatilización de amonio, con una pérdida al término del período de sequías de $0.024 \text{ mgN-NH}_4^+ / \text{m}^2 / \text{día}$ y $2.4 \text{ mgN-NH}_4^+ / \text{m}^2 / \text{día}$ al final de las lluvias.

ABSTRACT

Diverse environmental factors, like weather, can influence the sediment chemistry in the Caimanero Lagoon and contribute to the apparently relative spatial and temporal heterogeneity. Some conservative and non-conservative variables (NH_4^+ , salinity, COD and water percentage) were utilized to corroborate this assumption. The difference between permanently flooded areas (rains) and desiccated areas (dry season) was defined with a 91.9% by ammonium content associated with salinity. Temporal variation was defined by ammonium volatilization, with a loss of $0.024 \text{ mgN-NH}_4^+ / \text{m}^2 / \text{day}$ at the end of the dry period and $2.4 \text{ mgN-NH}_4^+ / \text{m}^2 / \text{day}$ at the end of the rains.

INTRODUCCION

El ambiente geoquímico de la zona costera (lagunas, estuarios, marismas, etc.) es diverso y complejo, dependiente de múltiples factores que intervienen en diferente grado, según la localidad. En latitudes subtropicales, el clima puede jugar un papel determinante en los cambios que suceden en el sedimento. Esto

INTRODUCTION

The geochemical environment in the coastal zone (lagoons, estuaries, marshes, etc.) is diverse and complex, depending on multiple factors that participate to a different degree according to the locality. In subtropical latitudes, weather can play a determinant role in the changes that occur in the sediment. This is

se traduce desde diferentes grados de humectación y sequedad, hasta variaciones marcadas de tipo diagenético de carácter general a muy local (de la Lanza, 1981; Rodríguez-Medina, 1989).

Relacionado con esto último y con la geoquímica del sedimento, Arenas and de la Lanza (1981) señalaron que un mecanismo de reincorporación de nutrientes puede ser causado por la desecación y agrietamiento de sedimentos llevada a cabo por evaporación intensa, durante la época de estiaje. Las grietas pueden alcanzar capas profundas y por procesos físico-químicos acelerar la mineralización y favorecer la disponibilidad de nutrientes durante la época lluviosa.

Las condiciones climáticas extremas tienden a modificar significativamente la morfología y batimetría de los sistemas costeros, que incluso a nivel regional, imprimen características particulares, difícilmente perceptibles en las costas batimétricas que se traducen en ambientes puntuales que dan por resultado la heterogeneidad geoquímica reportada por de la Lanza (1981) y Rodríguez-Medina (1989).

A pesar de dicha heterogeneidad, es posible registrar condiciones sedimentarias de comportamiento regular, que permiten el manejo estadístico, para efecto de la elaboración de modelos de simulación. El sistema lagunar de Huizache-Caimanero ejemplifica el efecto de la variación climática extrema sobre las características físicas, químicas y geológicas del sedimento, algunas de las cuales permiten caracterizar ambientes. En consecuencia, el motivo del presente estudio fue corroborar la heterogeneidad o regularidad de las variables: contenido de amonio, salinidad, demanda química de oxígeno y humedad (porcentaje de agua) en el sedimento de la Laguna de Caimanero, con el apoyo de diversos métodos de análisis estadísticos.

AREA DE ESTUDIO

El sistema lagunar de Huizache-Caimanero, localizado en el estado de Sinaloa, entre los 22° 50' y 23° 05' N y 105° 55'-106° 15' W, presenta una superficie media total de 175 km² y una profundidad promedio de 0.65 m (Fig. 1).

reflected in different humectation and dryness conditions and marked general and local diagenetic variations (de la Lanza, 1981; Rodríguez-Medina, 1989).

With regard to the latter statement and the sediment geochemistry, Arenas and de la Lanza (1981) cited that a nutrient reincorporation mechanism can be caused by the desiccation and cracking of sediments as a result of intense evaporation during the dry season. The cracks can reach deep layers and enhance mineralization and favour nutrient availability during the rainy season, through physico-chemical processes.

Extreme climatic conditions tend to modify the morphology and bathymetry of coastal systems significantly. Even on a regional level they generate particular characteristics, difficult to detect in the former case, which are associated with punctual environments with the consequent geochemical heterogeneity cited by de la Lanza (1981) and Rodríguez-Medina (1989).

Despite such heterogeneity, it is possible to register sedimentary conditions with a regular behavior, that allow a statistical treatment for simulation modelling purposes. The Huizache-Caimanero lagoon system exemplifies the effect of extreme climatic variations on physical, chemical and geological characteristics of sediment, some of which allow to characterize environments. Consequently, the purpose of the present study was to corroborate the heterogeneity or regularity of the variables: ammonium content, salinity, chemical oxygen demand and water percentage of the sediment in the Caimanero Lagoon, with the support of several statistical analysis methods.

STUDY AREA

The Huizache-Caimanero lagoon system is located in the state of Sinaloa, between 22° 50' and 23° 05' N and 105° 55'-106° 15' W. It has an average total surface of 175 km² with a mean depth of 0.65 m (Fig. 1).

In correspondence with seasonal climatic variations, considerable fluctuations in the covered area of the lagoon are registered, with a minimum of 65 km² at the end of the

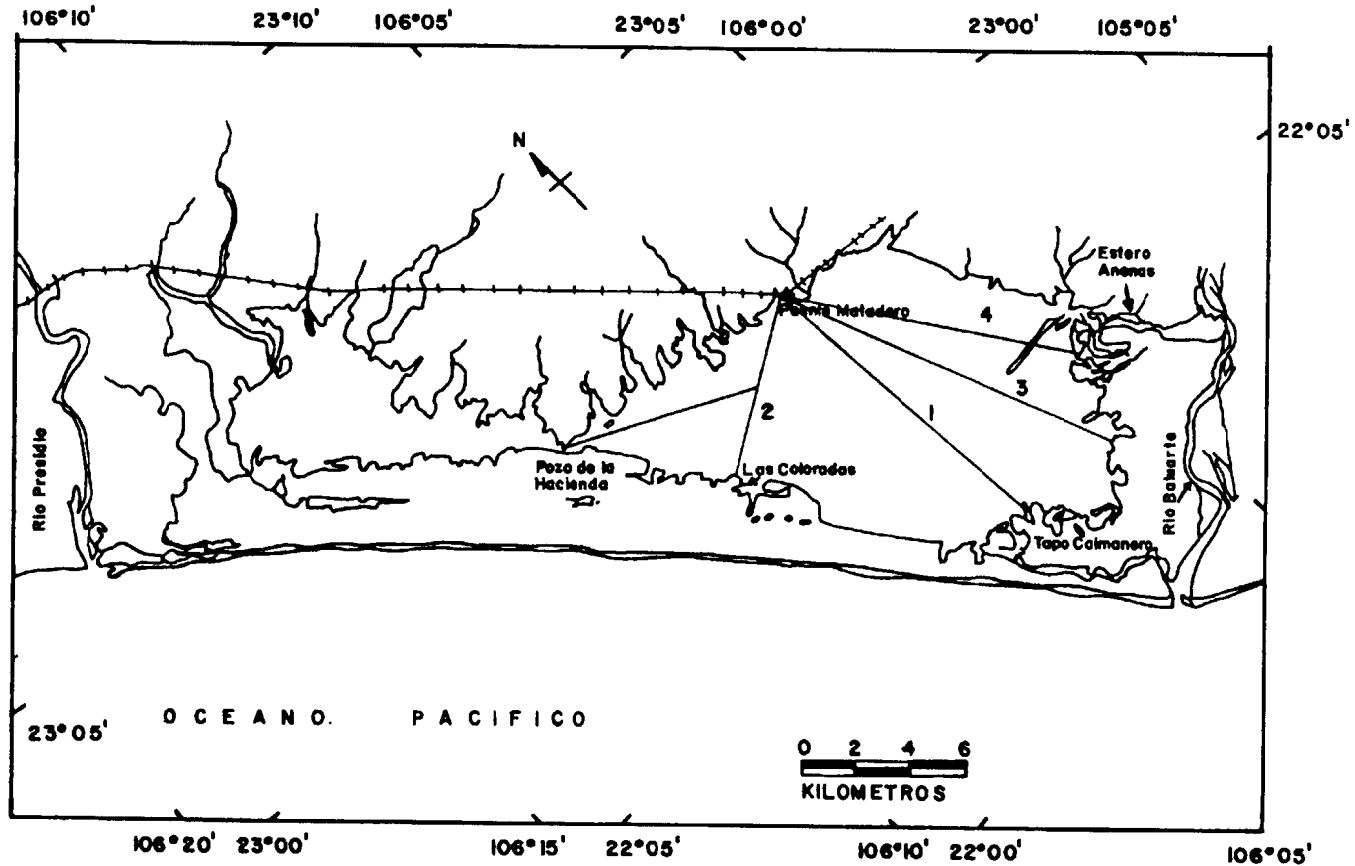


Figura 1. Estaciones de muestreo en la Laguna Huizache y Caimanero, Sinaloa, México.
Figure 1. Sampling stations in the Huizache and Caimanero Lagoon, Sinaloa, Mexico.

En correspondencia con variaciones climáticas estacionales, se registran fluctuaciones considerables en el área de cobertura de la laguna, con un mínimo de 65 km² al término de la temporada de estiaje, a la vez que el aporte de agua que recibe vía una serie de esteros que comunican con los ríos Baluarte y Presidio que limitan al sistema, es interrumpido (Soto-López, 1969).

Este proceso de inundación y desecación periódico, es resultado principalmente del régimen pluvial y la evaporación (Soto-López, 1969). La influencia de tormentas tropicales y huracanes, que son más frecuentes en agosto, septiembre y octubre (Serra, 1971), se manifiesta en forma de precipitaciones torrenciales de grandes proporciones, flujos de gran caudal que generan resuspensión del sedimento y redistribución de éste, así como de algunos componentes de la vegetación acuática y determinan la extensión de las áreas de cubrimiento lagunar (Arenas, 1979).

Mendoza von Borstel (1972) estableció una relación entre el nivel de agua en el sistema y el nivel medio de la marea, que es mayor entre mayo-noviembre y menor entre febrero-mayo. Este autor señala asimismo que como resultado de esa variación en el nivel del mar, el llenado de la laguna comienza antes del inicio del período de lluvia y se incrementa con este último.

La salinidad oscila entre 1 y 60⁰/oo, como resultado de los cambios en los aportes fluvial, marino y la evaporación. Soto-López (1969) reconoce tres zonas diferentes, de acuerdo con los rangos de salinidad: la primera, localizada en los Esteros de Agua Dulce y Ostial, corresponde a una zona de mezcla de la marea y ríos, con valores de 3 a 30⁰/oo. La comunicación de las dos cuencas coincide con la zona dos (3 a 25⁰/oo), mientras que la última, con salinidad entre 15 y 60⁰/oo, se localiza en los cuerpos lacustres de escasa variación durante un ciclo mareal. En el Estero Ostial, llega a registrarse hasta 1⁰/oo con tendencia al incremento; los Esteros Anonas y del Caimán conducen agua de los ríos, por lo que se les considera como estero de agua dulce.

Cabe señalar que durante la época de sequía, en Pozo la Hacienda, permanecen charcas aisladas que al secarse, se convierten

dry season. At the same time, the water input via "esteros" which communicate with the Baluarte and Presidio Rivers, is interrupted (Soto-López, 1969).

This periodical flooding and drying process, results mainly from the rain regime and evaporation (Soto-López, 1969). The influence of tropical storms and hurricanes that are more frequent in August, September and October (Serra, 1971), brings torrential precipitations and floods of big proportions that resuspend sediment and redistribute this and some components of the aquatic vegetation, and determine the extent of inundated areas in the lagoon (Arenas, 1979).

Mendoza von Borstel (1972) established a relationship between water level in the system and the mean tidal level, which is higher between May-November and lower in February-May. This author also mentions that as a result of this variation in the sea level, the filling of the lagoon starts before the beginning of the rainy season and increases with it.

Salinity oscillates between 1 and 60⁰/oo as a result of the changes in the freshwater, sea water and evaporation. Soto-López (1969) recognizes three different zones, according to salinity ranges: the first, localized in Estero Agua Dulce and Estero Ostial, corresponds to an area where tide and rivers mix with values of 3 to 30⁰/oo. Communication between the two basins coincides with zone two (3 to 25⁰/oo), while the last one with salinities between 15 and 60⁰/oo, is localized in the lacustrine bodies, with low variation during a tidal cycle. At the Estero Ostial, salinities as low as 1⁰/oo have been recorded with a trend to increase; Estero Anonas and Estero del Caimán convey water from the rivers, being considered as freshwater estuaries.

It must be pointed out that during the dry season, some isolated pools remain at Pozo Hacienda. When they dry up, they reduce their volume and become salt deposits ("salinas") which are industrially exploited (Soto-López, 1969). Phleger and Ayala-Castañares (1972) consider that a significant amount of salinity in the water derives from the residual salt that remains in the sediment when the lagoon is dry.

en salinas que son explotadas industrialmente (Soto-López, 1969). Phleger y Ayala-Castañares (1972), consideran que una cantidad significativa de sal en el agua, deriva de la residual que permanece en el sedimento cuando la laguna se seca durante la temporada de estiaje.

A medida que avanza la desecación del sedimento, el resquebrajamiento del mismo adquiere importancia y representa una mayor superficie de intercambio de nutrimentos. La mineralización y premineralización de materia orgánica, son favorecidas por el reciclamiento de materiales incluidos en estratos profundos, ahora expuestos como consecuencia de la formación de grietas, la intensa evaporación, deshidratación y desintegración parcial a altas temperaturas (Arenas y de la Lanza, 1981).

Simultáneamente con el proceso de secado del sedimento, una extensa zona del sistema es colonizada por halofitas, que durante la etapa de inundación, representan un aporte considerable de materia orgánica y nutrimentos a través de su degradación (Arenas, 1979; Arenas y de la Lanza, 1981, 1983; Raz-Guzmán y Sosa-Luna, 1982; Rodríguez-Medina, 1989).

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron cuatro transectos con un total de 31 estaciones equidistantes, circunscritos a la Laguna de Caimanero, durante el mes de agosto de 1978 (Fig. 1).

En cada punto de muestreo, se obtuvieron núcleos de sedimento mediante el empleo de tubos de PVC de 30 cm de longitud por 44.6 cm de diámetro interno provisto de tapones de hule en sus extremos. Las muestras fueron transportadas al laboratorio bajo refrigeración y una vez en el mismo, fueron subdivididas por niveles de profundidad superficial, medio y profundo (aproximadamente cada 3 cm).

Cada submuestra fue analizada en su contenido de agua por desecación a 60°C en estufa durante 24 h, hasta peso constante. La salinidad del sedimento se determinó por refractometría en el agua intersticial extraída por centrifugación.

With the drying of the sediment, the cracking gains importance and represents a bigger surface for nutrient exchange. Mineralization and premineralization of organic matter are favoured by the recycling of materials included in deep layers, which are now exposed as a result of crack formation, intense evaporation, dehydration and partial disintegration at high temperatures (Arenas and de la Lanza, 1981).

At the same time that sediment dries, a wide area of the system is colonized by halophytes, that represent a considerable input of organic matter and nutrients when they decay during the flooded season (Arenas, 1979; Arenas and de la Lanza, 1981, 1983; Raz-Guzmán and Sosa-Luna, 1982; Rodríguez-Medina, 1989).

MATERIALS AND METHODS

Four transects with a total of 31 stations equally located, were established in the Caimanero Lagoon during August of 1978 (Fig. 1).

At each sampling point, a sediment core was taken out by employing PVC tubes with 30 cm in length and 44.6 cm of inner diameter, with rubber stoppers on both sides. Samples were transported under refrigeration and were subdivided every 3 cm (surface, medium and bottom level).

Each subsample was analyzed in its water content by drying in oven at 60°C for 24 h until constant weight. Salinity was determined by refractometry in the pore water extracted by centrifugation.

Ammonia analyses were performed by specific ion electrode following the technique described by Orion Research (1974); Chemical Oxygen Demand (COD) was measured in the homogenized sample and in a 1:100 distilled water extract, according to the modification of Carlberg (1972). All the results are expressed on a dry weight basis.

Results were submitted to correlation and multiple regression analysis. In order to determine the presence of any gradients and identify those parameters which explain the

El análisis de amonio fue realizado por electrometría según la técnica sugerida por Orion Research (1974); y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue estimada mediante el método modificado por Carlberg (1972), tanto en la muestra homogeneizada como en un extracto acuoso en una proporción 1:100. Todas las determinaciones están referidas a peso seco de sedimento.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de correlación y regresión múltiple. A efecto de determinar la presencia de gradientes e identificar aquellos parámetros que explican tal variabilidad entre estratos de profundidad y los distintos transectos, se aplican los análisis de discriminantes y componentes principales, previa estandarización de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de amonio fue muy amplio, variando entre 0.03 y 22.8 mgN-NH₄⁺/g con los niveles más altos en la zona central y los más bajos en la periferia, en el límite Este (Fig. 2). No obstante la variabilidad presente existen semejanzas regionales; Arenas (1979) en 1973 registró 0.15 mgN-NH₄⁺/g mientras que en el presente estudio fue 0.20 mgN-NH₄⁺/g en una localidad cercana a Tapo de Hacienda, que permanece húmeda durante todo el año. Rodríguez-Medina (1989) en el área del Tapo Caimanero, que experimenta condiciones de sequedad, calculó un contenido extremadamente bajo de 3 x 10⁻³ mgN-NH₄⁺/g. Una posible explicación para el bajo contenido de amonio en las áreas periféricas, es su pérdida por volatilización a través de desecación y resquebrajamiento (Arenas y de la Lanza, 1981); otra es la evaporación del agua, que favorece la pérdida de amoniaco (Gardner, 1965).

La volatilización puede ser estacional, en virtud de las condiciones climáticas extremas a que se ve sujeto el sistema lagunar. Durante marzo (sequías) se determinó una tasa de pérdida de 0.024 mg/m²/día en un área donde este mecanismo debió haber declinado por reducción en la evaporación de agua (Fig. 3); esta cifra es baja comparada con la calculada en otros meses, debido también a lo avanzado del proceso de descomposición de la

variability between depth levels and the different transects, the discriminant and principal components analysis methods were utilized, after data standardization.

RESULTS AND DISCUSSION

The ammonium content varied from 0.03 to 22.8 mgN-NH₄⁺/g with the highest values in the central zone and the lower towards the periphery, in the East limit (Fig. 2). Despite the variability, there are regional resemblances; Arenas (1979) in 1973 registered 0.15 mgN-NH₄⁺/g, while in the present study 0.20 mgN-NH₄⁺/g was recorded in a locality near Pozo Hacienda, which remains wet during the year. Rodríguez-Medina (1989) calculated an extremely low content (3 x 10⁻³ mgN-NH₄⁺/g) near Tapo Caimanero, where sediment gets dried. A possible explanation for the low ammonium content in peripheral areas is its loss by volatilization through desiccation and cracking of sediment (Arenas and de la Lanza, 1981); another is the evaporation of water, which enhances ammonium losses (Gardner, 1965).

Volatilization can be seasonal because of the extreme climatic conditions that affect the lagoon system. During March (dry season), a loss rate of 0.024 mg/m²/day was determined in an area where this mechanism must have declined as a result of reduced water evaporation (Fig. 3). This value is low, compared with those calculated in other months, also due to an advanced decomposition of the sedimentary organic matter, which is the major source of ammonium in this substrate (Hallberg *et al.*, 1976). Based on the rate of 1.05 mg/m²/day registered in 1973 by Arenas (1979), an interannual variation can also be defined.

The loss of ammonium calculated in October (at the end of the rainy period) reached 2.4 mgN-NH₄⁺/m²/day, which is justified by the elevated temperature, and high evaporation and organic matter decomposition rates (Fig. 3). This loss is similar to 2.23 mgN-NH₄⁺/m²/day which was calculated under laboratory conditions (Fig. 4), and 2.7 mgN-NH₄⁺/m²/day, reported in a Louisiana Gulf coast salt marsh (Smith and DeLaune, 1983).

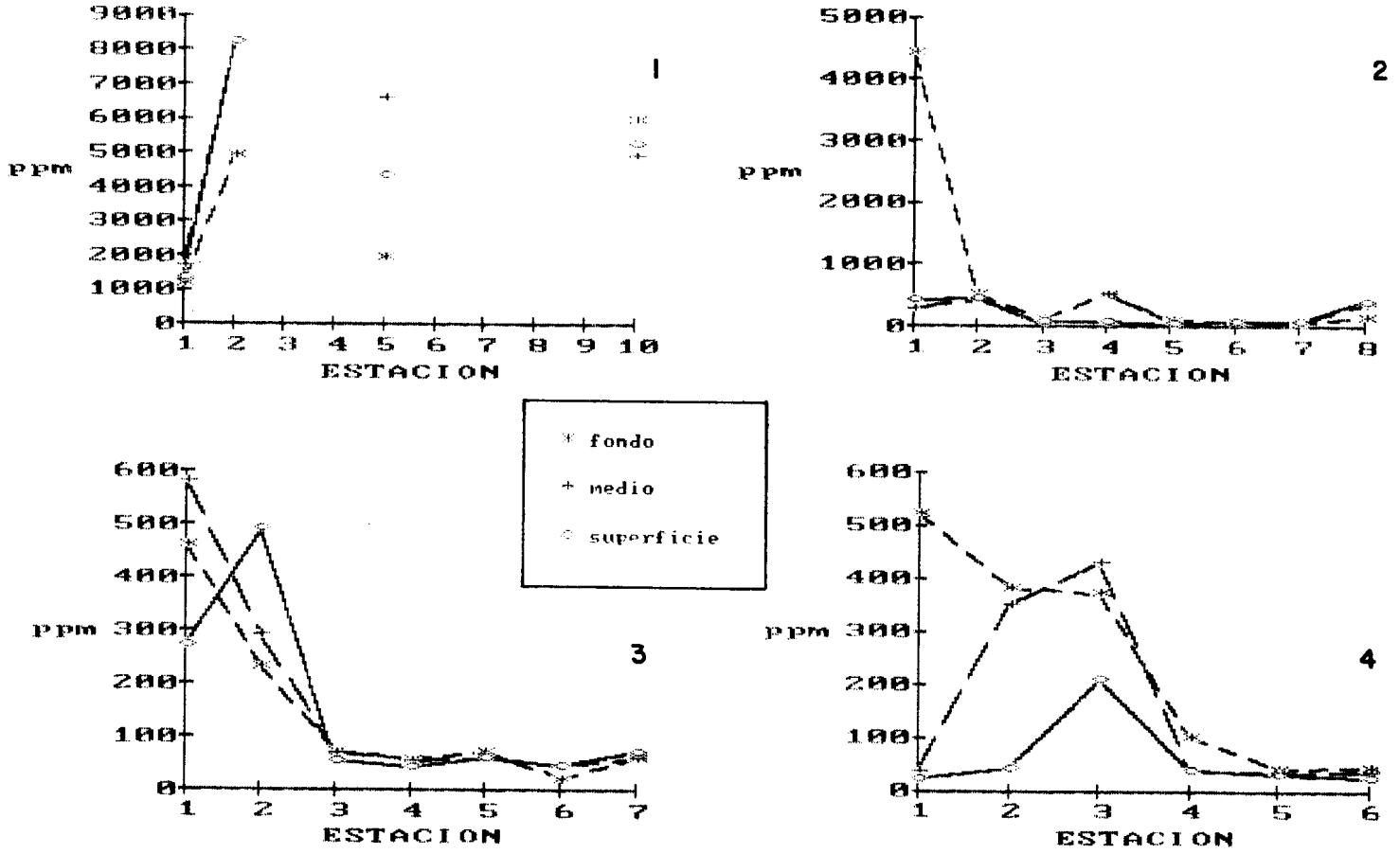


Figura 2. Contenido de amonio en los transectos (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.
Figure 2. Ammonium content along transects (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.

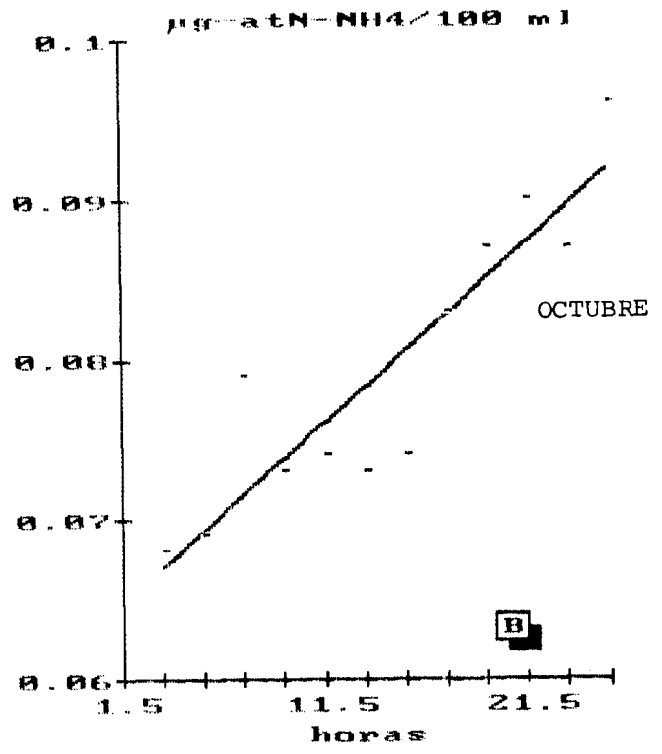
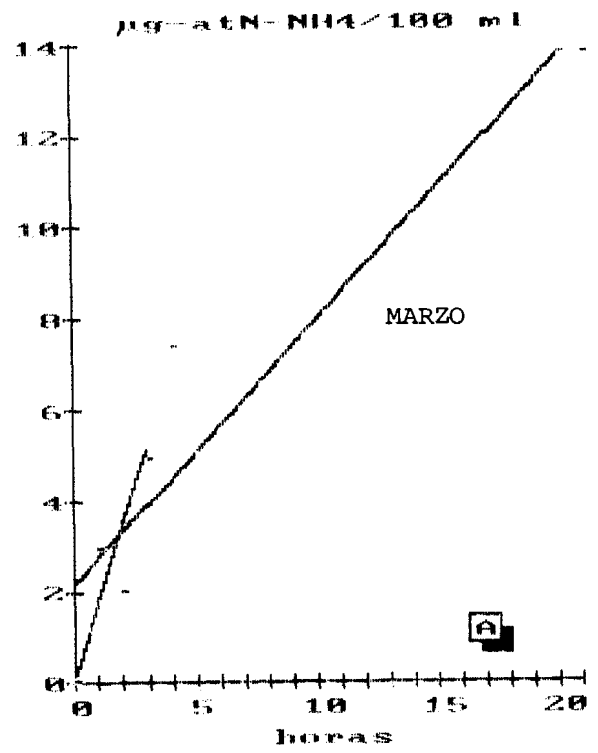


Figura 3. Volatilización de amonio en el área periférica de la Laguna de Caimanero.
Figure 3. Ammonium volatilization in the peripheral area of Caimanero Lagoon.

materia orgánica sedimentaria, que es la fuente principal de amonio en el sedimento (Hallberg *et al.*, 1976); incluso puede definirse una variación interanual, con base en lo registrado por Arenas (1979) en 1973 con $1.05 \text{ mgN/m}^2/\text{día}$.

La pérdida de amonio calculada en octubre (al final del período de lluvias) alcanzó $2.4 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{m}^2/\text{día}$, nivel justificable por las elevadas temperaturas, altas tasas de evaporación y una mayor descomposición de materia orgánica (Fig. 3). Esta pérdida por volatilización es semejante a la calculada experimentalmente en el laboratorio de $2.23 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{m}^2/\text{día}$ (Fig. 4) y a la citada por Smith y DeLaune (1983) de $2.7 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{m}^2/\text{día}$ en una marisma en la costa del Golfo de México en Louisiana.

Tomando en cuenta la pérdida de nitrógeno por exportación de detritos, desnitrificación, exportación de nitrógeno orgánico disuelto, etc., de $18 \text{ gN/m}^2/\text{año}$ calculado por DeLaune y Patrick (1980), la pérdida por volatilización en la Laguna de Caimanero representaría el 2.3% y según el total de pérdidas calculado por Arenas (1979) de $50 \text{ g/m}^2/\text{año}$, correspondería al 0.82%.

Con base en un promedio de los tres niveles en los 10 cm de profundidad, el amonio mostró fuertes diferencias entre los transectos, como lo certifica el análisis global de componentes principales con 71.5%, asociado con la salinidad. En forma más específica, los transectos 3 y 4 señalaron un 96.7% de variabilidad a través del mismo análisis. Adicionalmente se observó una diferencia a lo largo de los transectos entre las estaciones frente a Mataderos y las restantes periféricas, caracterizada por un decremento, a excepción de las centrales, que mostraron una distribución más alta y heterogénea.

La interpretación del comportamiento de amonio a través de modelos es poco precisa. A pesar de esto, se empleó el análisis de regresión múltiple, que sólo definió a la profundidad como el parámetro que explicó el 56% de la variabilidad de este ión.

Aún cuando se registran variaciones en el perfil de profundidad como aquellas definidas por Jurado-Molina (1989) en esta

Considering a nitrogen loss through detritus export, denitrification, dissolved organic nitrogen export, etc., of $18 \text{ gN/m}^2/\text{year}$ (DeLaune and Patrick, 1980), volatilization would account for 2.3%; if total losses of $50 \text{ gN/m}^2/\text{year}$ from the Caimanero Lagoon (Arenas, 1979) are considered, this percentage would be 0.82%.

Based on an average of the three sampled levels in the first 10 cm in the sediment, ammonium showed marked differences between transects, as it is certified with 71.5% by the global principal components analysis in association with salinity. More specifically, this ion along with salinity and water content explained 96.7% of the variability between transects 3 and 4. Additionally, differences were observed along the transects between stations near Mataderos and the rest in the periphery, characterized by decrement, with exception of the central that showed higher and heterogeneous contents.

Although there were no variations along the depth profile as those defined by Jurado-Molina (1989) in this lagoon, regionalization in the sedimentary face was ratified with an also high significance.

Salinity allowed to recognize three different environments: one near Mataderos with 45 to $90^\circ/\text{oo}$ and a punctual content of $19^\circ/\text{oo}$; another in the opposite side, between Estero Anonas and Tapo Caimanero with 28 to $44.5^\circ/\text{oo}$ and the third in front of Pozo Hacienda, with 25 to $117^\circ/\text{oo}$ (Fig. 5). Soto-López (1969) defines Pozo Hacienda as an area with isolated pools which transform into salt deposits during the dry season and coincide with salinity maxima registered at 10 cm in the sediment. These can be three times higher than the characteristic value for sea water and constitute evidence of an intense evaporation and salt concentration in this locality during past dry periods; according to Soto-López (1969) and Arenas (1979), this region would be comprised in a zone with salinities between 15 and $60^\circ/\text{oo}$ in the water column. Some maxima ($104^\circ/\text{oo}$) were registered near transects 3 and 4, due to local bathymetric depressions.

The periphery included between Estero Anonas and Tapo Caimanero, is initially

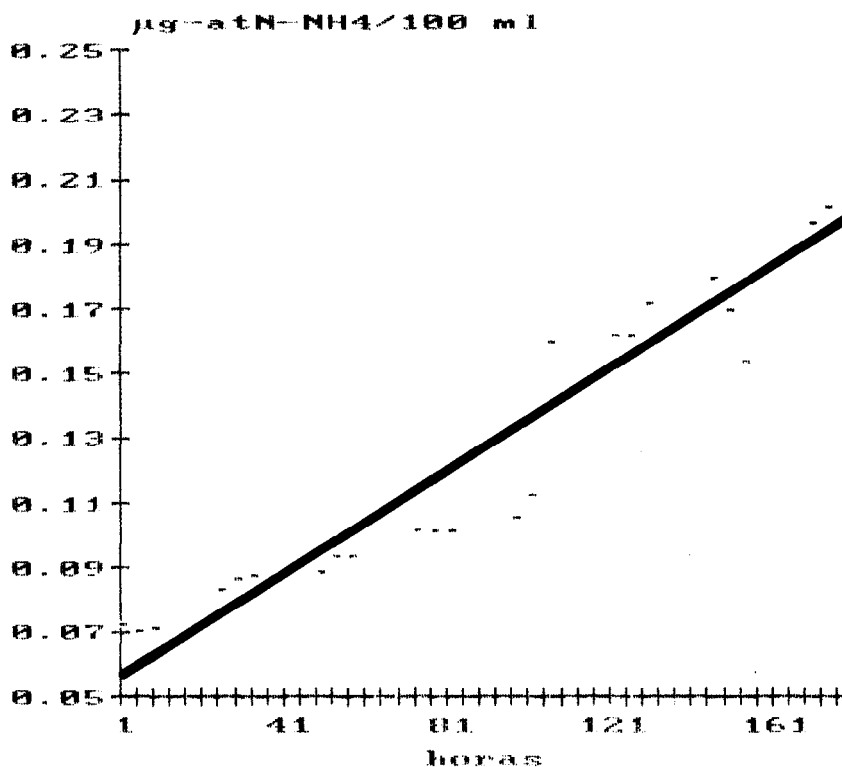


Figura 4. Volatilización de amonio a nivel experimental.
Figure 4. Ammonium volatilization at experimental level.

laguna, ratifican la regionalización de la fase sedimentaria en áreas, con un alto nivel de significancia como el aquí determinado.

La salinidad señaló tres ambientes distintos, uno cercano y circunscrito a Mataderos de 45 a 90‰ con un contenido puntual de 19‰; otro en el extremo opuesto entre Estero Anonas y Tapo Caimanero, de 28 a 44.5‰ y un tercero frente a Pozo Hacienda, de 25 a 117‰ (Fig 5). Soto-López (1969) define a Pozo Hacienda, como un área con charcas aisladas que se convierten en salinas durante la época de estiaje y coinciden con los máximos de salinidad registrados a 10 cm de profundidad en el sedimento, los cuales rebasan hasta tres veces el valor característico del agua marina y constituyen evidencia de un proceso de intensa evaporación y concentración de sal en esta localidad durante períodos de sequía anteriores; conforme a lo

exposed during the dry season; nevertheless, salinities varied from 28 to 44.5‰, lower than in Pozo Hacienda. This is justifiable because it is a zone with influence of fresh-water which enters the system through Anonas channel and represents a relatively direct river input, with the consequent leaching of remnant and intemperized salt.

With regard to variations in the three analyzed strata, it can be mentioned that in the study area, there was an increase at a depth of 10 cm from 0.25 to 2.7 times the surface content in general, which explains 94.2‰ of the differences with depth, with a high significance ($p = 0.00003$). Particularly the East limit presented differences which are explained in a 57.8% between transects 3 and 4, where there is an important discrimination of 73.3% in association with the water content, from surface to 10 cm in the sediment.

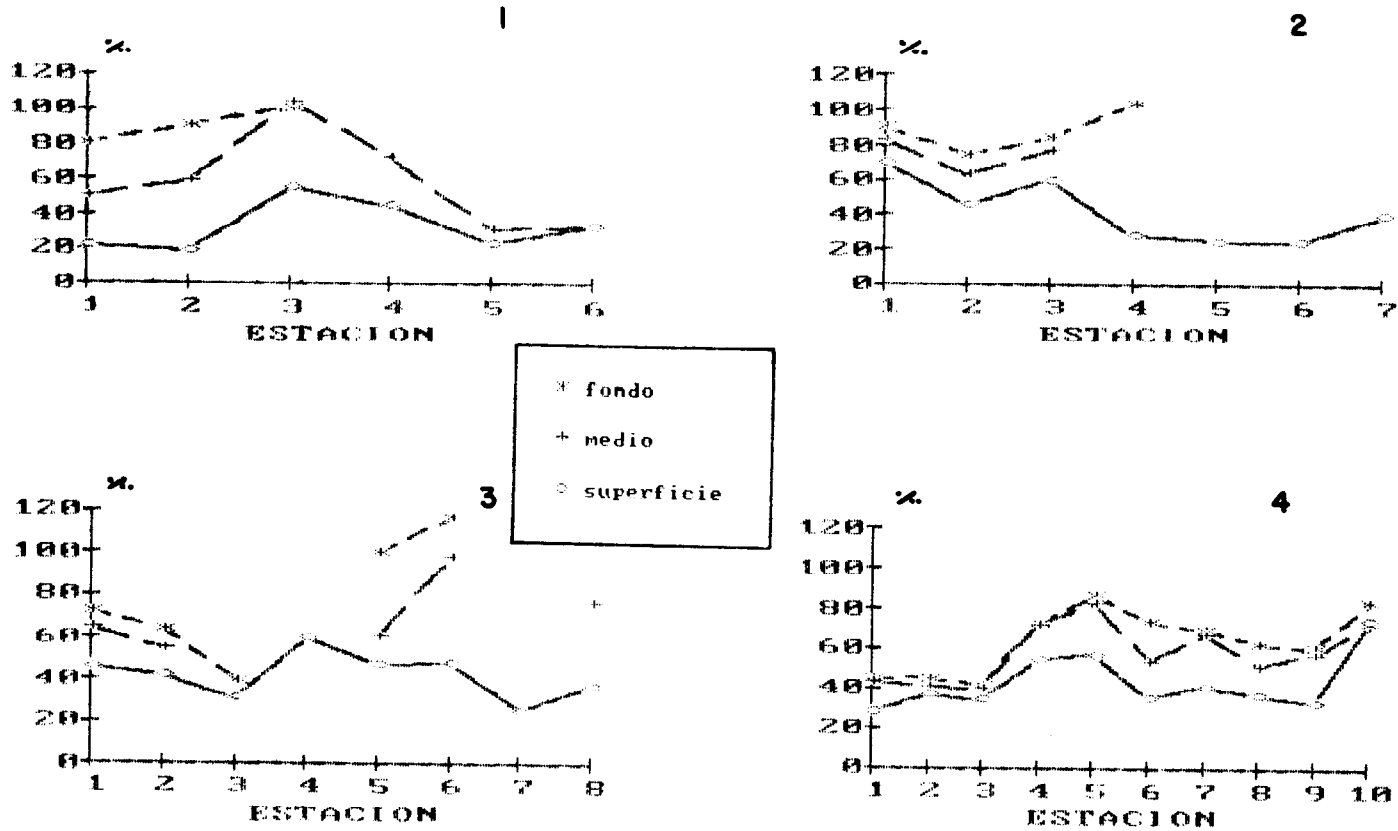


Figura 5. Salinidad del sedimento en los transectos (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.
Figure 5. Sediment salinity along transects (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.

reportado por Soto-López (1969) y Arenas (1979), esta región quedaría comprendida en la zona con salinidad entre 15 y 60‰ en la columna de agua. Debido a depresiones batimétricas de carácter local, se registraron algunos máximos en las inmediaciones de los transectos 3 y 4 (104‰/oo).

La periferia, comprendida entre Estero Anonas y Tapo Caimanero, es la que queda inicialmente expuesta en el estiaje; no obstante, las salinidades presentaron una variación de 28 a 44.5‰/oo, menor que la de Pozo Hacienda. Esto es justificable porque es una zona de influencia de agua dulce que ingresa al sistema a través del canal Anonas y representa un aporte fluvial relativamente directo, con un efecto de lixiviación de la sal remanente e intemperizada.

Con referencia a la variación en los tres estratos analizados se puede señalar que en el área estudiada se registró, en general, un incremento a 10 cm de profundidad, que va de 0.25 a 2.7 veces el contenido en superficie y explica un 94.2% de la desigualdad, con una alta significancia ($p = 0.00003$). Particularmente el límite Este señaló diferencias que son explicadas en un 57.8% entre los transectos 3 y 4, donde se aprecia una mayor discriminación entre superficie y los 10 cm estudiados de 73.3%, en asociación con el contenido de agua.

La salinidad es la variable más determinante para delimitar la regionalidad con base en la extensión de áreas desecadas/inundadas. Este planteamiento se apoya en el análisis global de componentes principales que lo define en un 73.2%.

Los niveles de DQO mostraron un incremento hacia los límites Este y Noroeste (Fig. 6), a diferencia del amonio que mostró un comportamiento inverso. Aún cuando el contenido fue bajo, en general en el estrato superficial fue más alto que a los 10 cm de profundidad; esta discriminación se corrobora con un 94.2% asociado a la salinidad.

En el área periférica del límite Este, las diferencias entre los transectos 3 y 4 fueron explicadas tan sólo en un 0.5% contra un máximo de 96.7% de amonio y salinidad.

Salinity is the most determinant variable to delimit regions on a basis of extension of dried and flooded areas. This assumption is supported by the global principal components analysis which defines it with 73.2%.

COD levels showed an increase towards East and Northeast limits (Fig. 6), in contrast with ammonium which showed an inverse behavior. Even when content was low, in general it was higher in surface than 10 cm deep. This difference was explained with 94.2% associated with salinity.

In the peripheral area in the East limit, differences between transects 3 and 4 were explained with only 0.5%, versus 96.7% with ammonium and salinity.

Raz-Guzmán and Sosa-Luna (1982) calculated an average oxidable carbon content of 0.1 to 0.2 mg/g, which is less than the one calculated here of 0.93 mg/g (in an area where the organic matter contents less than 3% have been registered) in the East limit, where drying conditions an active decomposition of organic matter. Arenas and de la Lanza (1981) pointed out that the drying and cracking of silt-clay sediments accelerates mineralization and predisposes easy oxidable organic materials. Notwithstanding, this condition can vary seasonally based on Arenas (1979) who mentions that in peripheral areas, oxidable sedimentary organic matter is lower than in the central part of the lagoon, that remains flooded more or less permanently.

In the latter zone, in the present study 0.04 mg/g oxidability levels were determined (area where organic matter contents higher than 5% have been registered). This confirms the mentioned variability and the importance of the drying process.

Water content in Caimanero did not show a radial decrease pattern with Mataderos as the origin, like the former variables (Fig. 7); nevertheless, Pozo Hacienda was characterized by a lower content of 43.3% (transect 2) as a result of compaction and coincides with the permanently covered area. A gradient of 46.5, 48.95 and 59.85% (transects 1, 3 and 4) was found from the central area to the East limit. It explains 7.5% of the

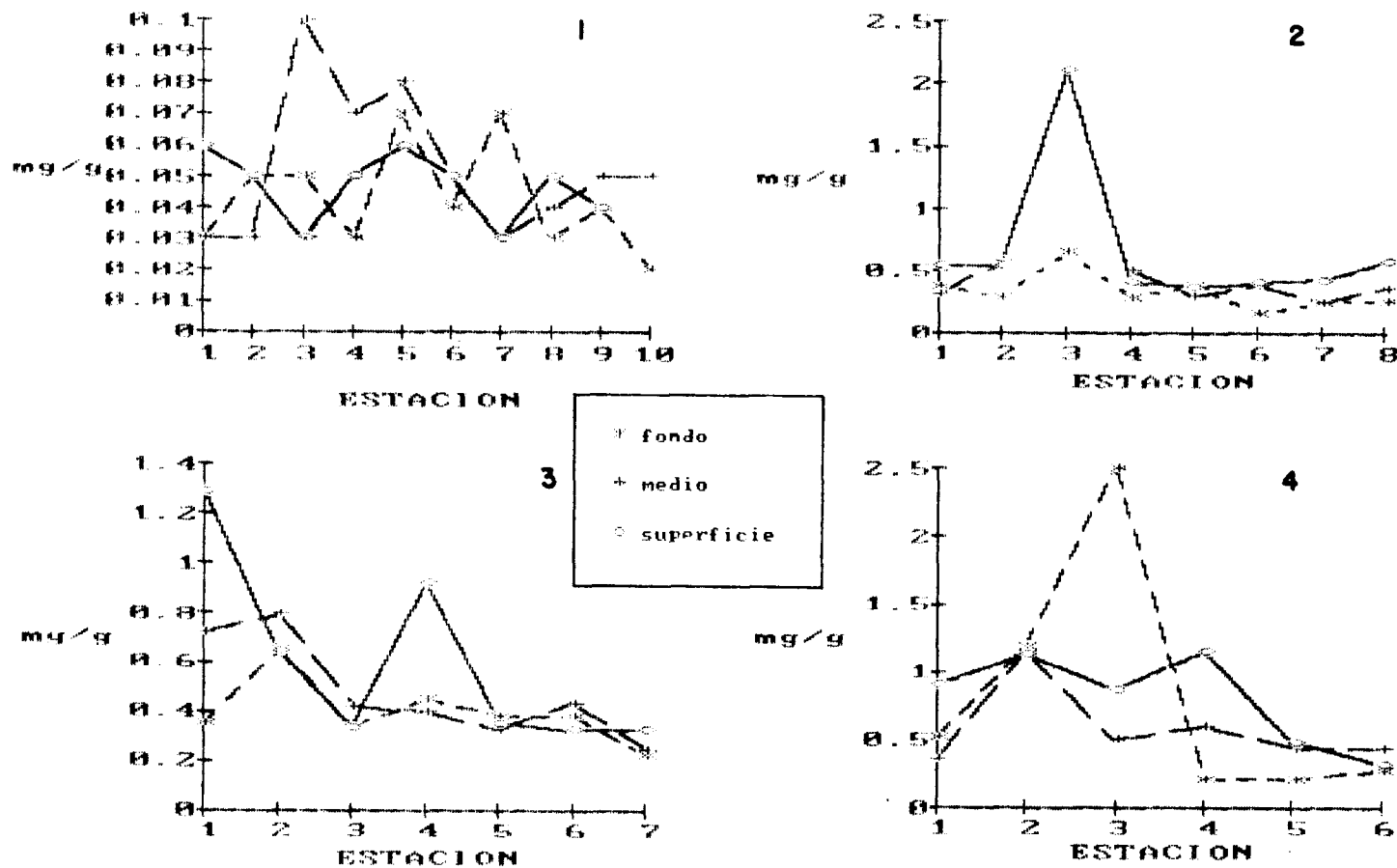


Figura 6. Demanda química de oxígeno en el sedimento de los transectos (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.

Figure 6. Chemical oxygen demand in sediments of the transects (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.

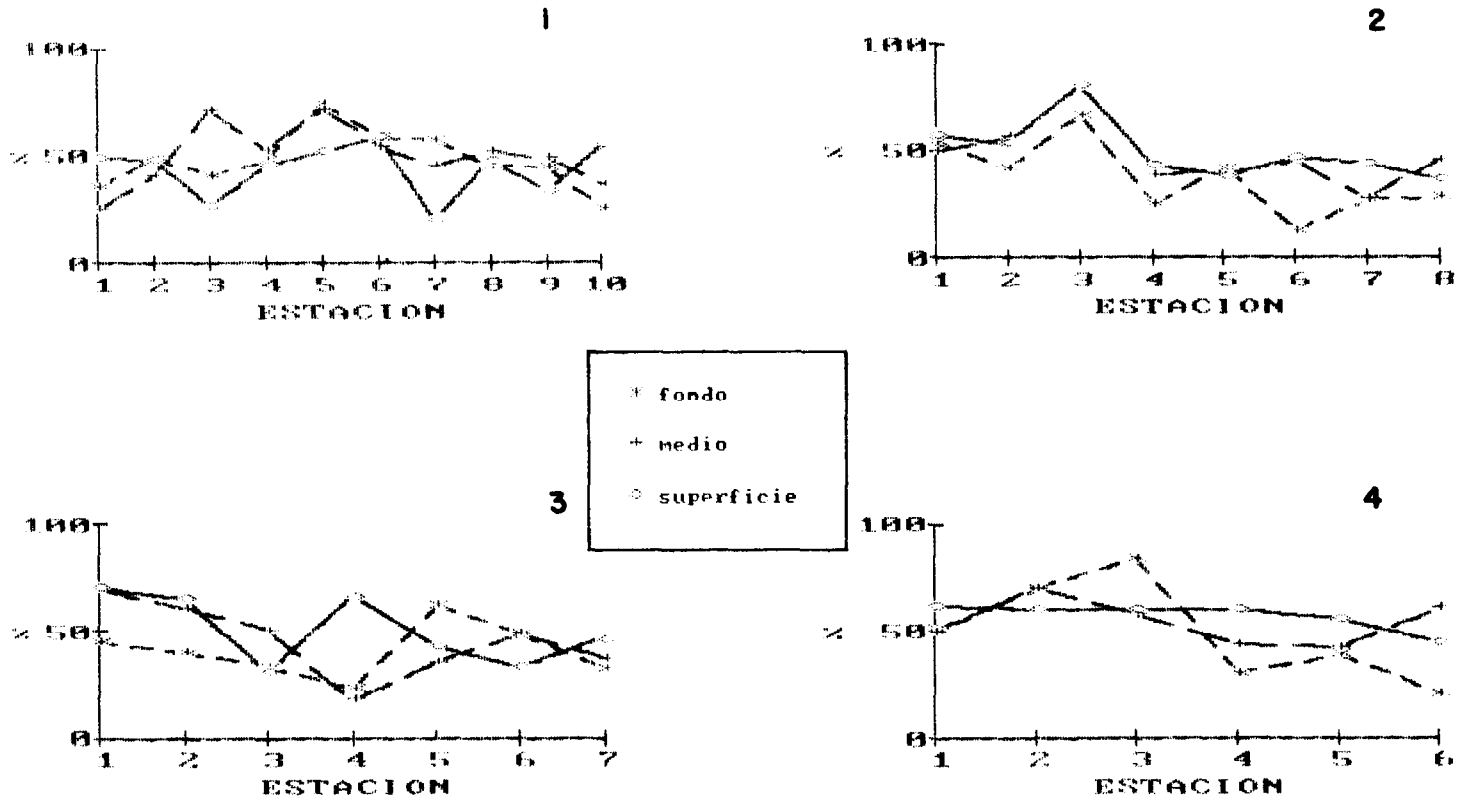


Figura 7. Porcentaje de agua en sedimentos de los transectos (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.
Figure 7. Sediment water percentage along the transects (1) Tapo Caimanero-Matadero, (2) Matadero-Coloradas-Pozo Hacienda, (3) Matadero-Límite Este, (4) Matadero-Estero Anonas.

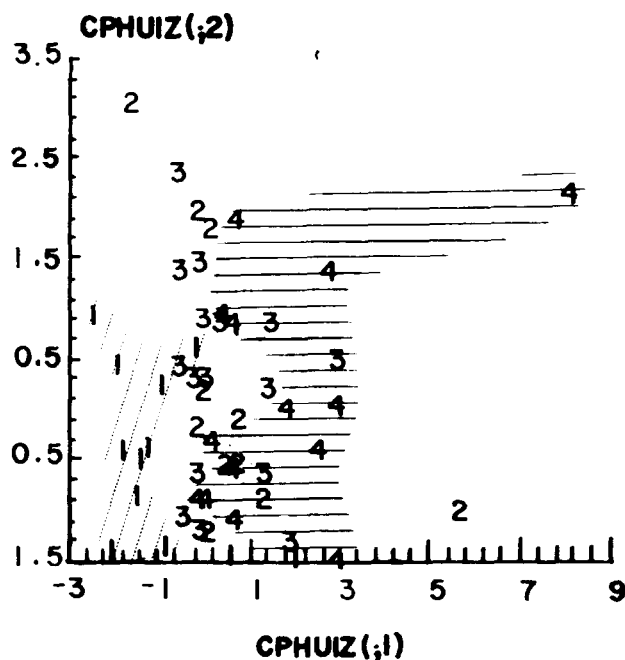


Figura 8. Definición de áreas por transectos, a través del análisis de componentes principales. Transecto 1 (diagonal); Transecto 4 (horizontal).

Figure 8. Definition of areas by transects, through the principal components analysis. Transect 1 (diagonal); Transect 4 (horizontal).

Raz-Guzmán y Sosa-Luna (1982) calcularon un promedio de carbono oxidable de 0.1 a 0.2 mg/g, inferior a lo aquí calculado de 0.93 mg/g (área donde se han registrado contenidos de materia orgánica menores de 3%) en el límite Este, cuya desecación acondiciona un proceso de descomposición de materia orgánica activo. Arenas y de la Lanza (1981) señalan que los procesos causados por la desecación y resquebrajamiento de los sedimentos limo-arcillosos, pueden acelerar la mineralización y predisponer materiales orgánicos de fácil oxidabilidad. Sin embargo, esta condición puede ser variable temporalmente en virtud de lo registrado por Arenas (1979) que menciona que en las estaciones periféricas el material orgánico sedimentario oxidable es menor que en el área central, correspondiente a la zona inundada en forma más o menos permanente.

variability, in association with salinity. This can be justified by the fact that certain clays lose interlaminar water (Mason, 1966) by changes in temperature when desiccated during the dry season, to be obtained again when the lagoon reaches its maximum volume. The cracking of sediments down to 10 cm, can enhance a better humectation in this level; this explains more than 73.3% of the differences between strata in association with salinity and COD in the East limit (transects 3 and 4).

CONCLUSIONS

Dry (desiccation) and rain (humectation) periods define areas with local geochemical characteristics. Ammonium was present in more or less constant concentrations in the wet area, and here as well as in the rest of the

En esta última zona, en el presente estudio, se determinaron niveles de oxidabilidad de 0.04 mg/g (área donde se han registrado contenidos de materia orgánica mayores de 5%) lo cual confirma la citada variabilidad y la importancia de la desecación.

El contenido de agua en Caimanero no mostró un patrón de disminución radial a partir de Mataderos como lo señalaron las variables anteriores (Fig. 7); sin embargo el área de Pozo Hacienda se caracterizó por el contenido más bajo, de 43.3% promedio (tránsito 2) por efecto de compactación y coincide con la zona que permanece cubierta durante todo el año. Del área central hacia el límite Este presentó un gradiente de 46.5, 48.95 y 59.85% (tránsitos 1, 3 y 4), que en asociación con la salinidad, explica el 7.5% de la variabilidad. Lo anterior puede justificarse con base en la pérdida de agua interlamina de ciertas arcillas (Mason, 1966) que se pierde por cambios de temperatura por desecación, durante la época de estiaje, y posteriormente adquieren, cuando la laguna alcanza su máximo embalse. El agrietamiento hasta aproximadamente 10 cm de profundidad en el sedimento, puede tener un efecto de mayor humectación en ese nivel y consecuentemente mayor contenido de agua; lo cual explica más del 73.3% de la diferencia entre estratos, en asociación con la salinidad y la demanda química de oxígeno, con referencia al límite Este (tránsitos 3 y 4).

CONCLUSIONES

En la Laguna de Caimanero los períodos de estiaje (desecación) y lluvias (humectación) definen áreas con características geoquímicas locales. El amonio presentó una concentración más o menos constante en el área humectada y tanto en ésta como en el resto, los cambios con la profundidad determinaron un 56% de la variabilidad vertical.

La pérdida por volatilización fue menor al término del período de sequías (0.024 mg/m²/día), debido a su estrecha relación con el mecanismo de evaporación y grado de humectación del sedimento.

A 10 cm de profundidad en el sedimento, se registraron fuertes cambios de salinidad

lagoon, its changes with depth in the sediment determined 56% of total vertical variability.

Volatilization loss was low at the end of the dry period (0.024 mg/m²/day), due to a close relationship with evaporation and humectation degree in the sediment.

At a depth of 10 cm in sediment, marked changes in salinity were registered in areas with bathymetric irregularities as in Pozo Hacienda and coincide with the maximum cracking depth in this substrate during the dry period.

The drying process can condition a higher carbon oxidation which represents a significant input if one considers the extent of the surface which is desiccated (70%).

Statistically, humidity was not a geochemical variable that determined the regionalization of the studied area; nevertheless, it defined a gradient associated with salinity (freshwater influence) and indirectly to bathymetry.

The interaction of the considered variables determined a definition in areas (Fig. 8), which is explained with 91.9% by ammonium and salinity.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Juan Felipe García Montes for performing the statistical analysis and valuable discussion on this aspect.

English translation by the author.

en áreas de irregularidades batimétricas como en Pozo Hacienda y coincide con la máxima profundidad del agrietamiento de este sustrato en el período de sequías.

El proceso de desecación puede condicionar una mayor oxidación del carbono, cuyo aporte es significativo, dada la extensión de área sometida (70%) a la pérdida de agua.

Estadísticamente, la humedad no fue una variable geoquímica que determinó la regionalización del área estudiada; sin embargo, definió un gradiente asociado a salinidad (influencia de agua dulce) e indirectamente la batimetría.

La interacción de las variables geoquímicas aquí empleadas, determinó una definición en áreas (Fig. 8), que es explicada por el amonio y la salinidad, en un 91.9%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Juan Felipe García Montes la realización de los análisis estadísticos y su participación en la discusión de resultados.

LITERATURA CITADA

Arenas, V. (1979). Balance anual del carbono orgánico, nitrógeno y fósforo en el sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 114 pp.

Arenas, V. and de la Lanza, G. (1981). The effect of dried and cracked sediment on the availability of phosphorus in a coastal lagoon. *Estuaries*, 4(3): 206-212.

Arenas, V. and de la Lanza, G. (1983). Annual phosphorus budget of a coastal lagoon in the northwest of Mexico. In: R. Hallberg (ed.), *Environmental Biogeochemistry*. *Ecol. Bull.* (Stockholm), 35: 431-440.

Carlberg, S.R. (ed.) (1972). *New Baltic Manual, with methods for sampling and analysis of physical, chemical and biological parameters*. Coop. Res. Rep. Series A, No. 29, Int. Counc. Expl. Sea, Denmark, 145 pp.

de la Lanza, G. (1981). Importancia de la materia orgánica en los sedimentos de la Laguna de Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Tesis Doctoral, CCH, UNAM, México, 93 pp.

DeLaune, R.D. and Patrick, W.H. Jr. (1980). Nitrogen and phosphorus cycling in a gulf coast salt marsh. In: V.S. Kennedy (ed.), *Estuarine Perspectives*. Academic Press, pp. 143-152.

Gardner, W.R. (1965). Movement of nitrogen in soil. In: W.V. Bartholomew and F.E. Clark (eds.), *Soil Nitrogen*. Agronomy 10. Madison. American Society of Agronomy, pp. 550-572.

Hallberg, R.O., Bågander, L.E. and Engvall, A.G. (1976). Dynamics of phosphorus, sulfur and nitrogen at the sediment-water interface. In: J.O. Nriagu (ed.), *Environmental Biogeochemistry*, Vol. 1. Ann Arbor Science, pp. 295-308.

Jurado Molina, J. (1989). Muestreo estadístico de algunas variables químicas y granulométricas de la fase sedimentaria del sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sin., México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 45 pp.

Mason, B. (1966). *Principles of Geochemistry*. Wiley, New York, 329 pp.

Mendozavon Borstel, X. (1972). Efectos de la marea sobre la producción camaronera en lagunas litorales. *Memorias del IV Congreso Nacional de Oceanografía (México)*, pp. 407-418.

Orion Research (1974). *Instruction manual ammonia electrode, model 95-10*. Orion Research Incorporated. Cambridge, Massachusetts, USA, 24 pp.

Phleger, F.B. y Ayala-Castañares, A. (1972). Ecology and development of two coastal lagoons in NW Mexico. *An. Inst. Biol. UNAM, Ser. Cienc. Mar y Limnol.*, 43(1): 1-20.

Raz-Guzmán, A. y Sosa Luna, R. (1982). Evaluación de la degradación de la vegetación halofita y su importancia en el sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 97 pp.

Rodríguez Medina, M. (1989). Estudio *in situ* de la degradación de la halofita *Salicornia subterminalis* y su relación con los mecanismos de movilización de nutrientes a través de la interfase sedimento-agua, en el sistema lagunar Caimanero-Huizache, Sin., México. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 152 pp.

de la Lanza, G. y Rodríguez Medina, M.- Caracterización regional de la Laguna de Caimanero

Serra, S.C. (1971). Hurricanes and tropical storms of the west coast of Mexico. *Monthly Weather Rev.*, 99: 302-308.

Smith, C.J. and DeLaune, R.D. (1983). Gaseous nitrogen losses from Gulf Coast marshes. *Northeast Gulf Sci.*, 6(1): 1-8.

Soto López, R. (1969). Mecanismo hidrológico del sistema de lagunas litorales Huizache-Caimanero y su influencia sobre la producción camaronera. Tesis Profesional, UABC, Ensenada, B.C., 79 pp.