

#### Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México



GEOQUIMICA DE COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS SEDIMENTOS DE LAGUNAS COSTERAS DE SONORA

#### T E S I S

que para obtener el grado académico de

Doctor en Ciencias del Mar (Oceanografía Química)

n resenta

PEDRO ORTEGA ROMERO







UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

#### DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## PAGINACIÓN DISCONTINUA



Tesis realizada en los laboratorios del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, bajo la co-dirección del Dr. Federico Páez Osuna y del Dr. Martín Merino Ibarra.

#### Jurado de examen de tesis doctoral:

Dr. Martín Merino Ibarra Dr. Federico Páez Osuna Dr. Arturo Carranza Edwards Dra. Leticia Rosales Hoz Dr. Felipe Vásquez Gutiérrez Dra. Elva Escobar Briones Dra. Adela Monreal Gómez

Autority of Direction Guneral of liberates de le UNAM a difinalité en formate presentantes e unitable de contact le Carrell Course de Carrell Course Course

#### **DEDICATORIA**



A los Profesores: Jesús Grijalva, Alejo Zamorano, Jesús Antonio Alcántar, José Cruz Iñiguez, guías importantes en mis fundamentos científicos.

A los Dres. Laurence D. Mee, Federico Páez, Martín Merino e Isidro Osuna, por su deseo de superación.

A la memoria de Ignacio del Valle y Gerardo Green, nunca ausentes de mi pensamiento.

A Don Francisco Shwarbeck por su apoyo en momentos determinantes de mi vida.

A la Universidad Pública (Universidad de Sonora y a la Universidad Autónoma de México) por la oportunidad que me dieron para estudiar.

A mi esposa Lorena con el amor que le profeso y por su apoyo incondicional:

A mis hijos Pablo y Pedro por ser mis más preciados tesoros.

A mis padres Hortensia y Miguel por sus consejos y apoyo. A Doña Lelya y Don Venancio siempre presentes.

> El agua de mar no es fría o caliente..... no porque le falte o sobre calor.... sino porque es amiga del tiempo

A pesar de que la importancia de un grano de sal es, evidentemente tan insignificante, asumimos el trabajo de escribir su historia.

"Historia de un grano de sal" (1871).



#### **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo en mi formación profesional.

Al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora por al apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A mis amigos Federico Páez, Isidro Osuna, Martín Merino, por su excelente orientación y consejos.

A Dolores Vásquez y Mercedes Serna, mis amigas solidarias, por su apoyo técnico siempre responsable.

A Clarita y Natalia de la UNAM Estación Mazatlán, por su apoyo y comprensión.

A las comunidades yaquis por su apoyo logístico para que este trabajo se realizara.



#### **CONTENIDO**

LISTA DE TABLAS	
LISTA DE FIGURAS	
RESUMEN	
SUMMARY	
INTRODUCCION	
OBJETIVOS	
Objetivos específicos	
ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS	All Market Cont.
Diagénesis	widestropies.
Materia orgánica	
La función de la sulfato reducción bacteriana en la geoguímica exogénic	ca
Formación de pirita en sedimentos marinos	
Pirita producida por debajo de la interfase sedimento-aqua	erade assessment speeds to a field of
Relación pirita-carbono orgánico	Birdeladen (%)
Correlación pinta-carbono orgánico respecto a la profundidad del sedim	ento
Distribución de carbono orgánico y sulfuro en sedimentos márinos recie	entes
Modelos diagenéticos	
Ecuación diagenética general	
Modelos diagenéticos Ecuación diagenética general Sulfato	erio-intol
Pirita Pirita	the season produced from the
Otros modelos digapatáticas	nadous en es
AREA DE ESTUDIO	
AREA DE ESTUDIO  Laguna costera Lobos	en regulation (
I ocalización	CARL CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR
Extensión Origen	
Origen	
Clima	
Granulometria	
Vegetación	
Contaminación	e.Nara nene
Vegetación Contaminación Laguna costera Algodones	
Localización	a Artematic
Fxtensión étérmétéralakéndek matapaténakénakén	
Origen	
Clima	
Granulometría	
Vegetación	

## CONTENIDO (continuación)

Laguna costera Guásimas       50         Localización       50         Extensión       50         Origen       52         Clima       52         Granulometría       53         METODOLOGIA       55         Muestreos       55         Análisis de sedimentos       57         Análisis de sulfuros y sulfatos       57         Análisis de pirita       59         Porcentaje de humedad (Por diferencia de peso)       59         Determinación de porosidad       59         Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento       59         Potencial redox (Eh)       60         Análisis de agua intersticial       60         Sulfato y sulfuro disuelto       60         pH en agua intersticial       61         Tratamiento de datos       61         RESULTADOS Y DISCUSION       63         pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Extensión
Origen
Clima
S3   METODOLOGIA   55   55   55   56   56   56   56   5
METODOLOGIA         55           Muestreos         55           Análisis de sedimentos         57           Análisis de sulfuros y sulfatos         57           Análisis de pirita         59           Porcentaje de humedad (Por diferencia de peso)         59           Determinación de porosidad         59           Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento         59           Potencial redox (Eh)         60           Análisis de agua intersticial         60           Sulfato y sulfuro disuelto         60           pH en agua intersticial         61           Tratamiento de datos         61           RESULTADOS Y DISCUSION         63           pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Muestreos       55         Análisis de sedimentos       57         Análisis de sulfuros y sulfatos       57         Análisis de pirita       59         Porcentaje de humedad (Por diferencia de peso)       59         Determinación de porosidad       59         Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento       59         Potencial redox (Eh)       60         Análisis de agua intersticial       60         Sulfato y sulfuro disuelto       60         pH en agua intersticial       61         Tratamiento de datos       61         RESULTADOS Y DISCUSION       63         pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Muestreos       55         Análisis de sedimentos       57         Análisis de sulfuros y sulfatos       57         Análisis de pirita       59         Porcentaje de humedad (Por diferencia de peso)       59         Determinación de porosidad       59         Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento       59         Potencial redox (Eh)       60         Análisis de agua intersticial       60         Sulfato y sulfuro disuelto       60         pH en agua intersticial       61         Tratamiento de datos       61         RESULTADOS Y DISCUSION       63         pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Análisis de sulfuros y sulfatos 57 Análisis de pirita 59 Porcentaje de humedad (Por diferencia de peso) 59 Determinación de porosidad 59 Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento 59 Potencial redox (Eh) 60 Análisis de agua intersticial 60 Sulfato y sulfuro disuelto 60 pH en agua intersticial 61 Tratamiento de datos 61 RESULTADOS Y DISCUSION 63 pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Análisis de pirita
Análisis de pirita
Determinación de porosidad 59 Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento 59 Potencial redox (Eh) 60 Análisis de agua intersticial 60 Sulfato y sulfuro disuelto 60 pH en agua intersticial 61 Tratamiento de datos 61  RESULTADOS Y DISCUSION 63 pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Determinación de porosidad 59 Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento 59 Potencial redox (Eh) 60 Análisis de agua intersticial 60 Sulfato y sulfuro disuelto 60 pH en agua intersticial 61 Tratamiento de datos 61  RESULTADOS Y DISCUSION 63 pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimento
Potencial redox (Eh) 60 Análisis de agua intersticial 60 Sulfato y sulfuro disuelto 60 pH en agua intersticial 61 Tratamiento de datos 61  RESULTADOS Y DISCUSION 63 pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Sulfato y sulfuro disuelto 60 pH en agua intersticial 61 Tratamiento de datos 61  RESULTADOS Y DISCUSION 63 pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
Sulfato y sulfuro disuelto 60 pH en agua intersticial 61 Tratamiento de datos 61  RESULTADOS Y DISCUSION 63 pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y
PH, porcentaje de humedad, porcentaje de Carbono orgánico oxidable y
PH, porcentaje de humedad, porcentaje de Carbono orgánico oxidable y
PH, porcentaje de humedad, porcentaje de Carbono orgánico oxidable y
The state of the s
porosidad 63
porosidad 63 Sulfatos 70
Sulfuros 71
Potencial redov
Distribución de SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> ' y S <sup>2</sup>
Pirita (FeS <sub>2</sub> ) en sedimento
Azufre total (FeS <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> , S <sup>2</sup> ) en sedimento
Grado de piritización 94
Carbono orgánico oxidable y pirita 96
Carbono orgánico oxidable y sulfato
Redox y pirita
Redox y sulfato
Cálculo de los parámetros del modelo diagenético para sulfatos
Cálculo del coeficiente de difusión (Ds) del ión SO,2 en el sedimento 114
Aplicación del modelo de Berner para la concentración de sulfato
Cálculo de la concentración asintólica



#### **CONTENIDO** (continuación)

-	pirita
	de sulfatos
Tasa de sulfato reducción integrad	la
Vida media del carbono orgánico o	oxidable
Tasa de acumulación de sediment	los
Cantidades totales	e de la companya de l La companya de la comp
Procesos geoquímicos	
Influencia de la bioturbación	
Modelo geoquímico esquematizado	do: descripción general
Zona superior de oxidación	
Zona superior de reducción	
Zona inferior de oxidación	
Zona inferior de reducción	
Descripción de los procesos estud	liados en la columna de sedimento
Estimación de los parámetros del	Modelo de Berner
Resultados de estudios anteriores	(FeS <sub>2</sub> )
Interacción sedimento-organismo	
	adas con actividad biológica
Procesos diagenéticos en la interf	ase sedimento-agua
ICLUSIONES	
ERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	
NDICE	angratistika kurunga malakka kalenda ka pada



PART IN

•	ara m=0.36 de la Fig. 6
Tabla 3. Va	racterísticas generales de cada sistema lagunar objeto de estudiolores de la distribución de pH, %H <sub>2</sub> O, %carbono orgánico y porosidad de
Tabla 4. Va	os en la laguna costera Lobos. lores de la distribución de pH, %H <sub>2</sub> O, %carbono orgánico y porosidad de
<b>Tabla 5.</b> Va	os en la laguna costera Algodones. lores de la distribución de pH, %H <sub>2</sub> O, %carbono orgánico y porosidad de
	os en la laguna costera Guásimas
sedimento d <b>Tabla 7.</b> Va	e la laguna costera Lobos. lores de la distribución de SO <sub>4</sub> ²-, S-SO <sub>4</sub> ²-/gh y S-SO <sub>4</sub> ²-/gs en los núcleos de
sedimento d <b>Tabla 8.</b> Va	e la laguna costera Algodones lores de la distribución de SO <sub>4</sub> ²-, S-SO <sub>4</sub> ²-/gh y S-SO <sub>4</sub> ²-/gs en los núcleos de
sedimento d	e la laguna costera Guásimas
	alores de la distribución de S², S-S²/gh y S-S²/gs en los núcleos de
	e la laguna costera Lobos.
	/alores de la distribución de S²-, S-S²/gh y S-S²/gs en los núcleos de
	e la laguna costera Algodones
	/alores de la distribución de S², S-S²/gh y S-S²/gs en los núcleos de e la laguna costera Guásimas
	alores de la distribución del potencial redox en los núcleos de segimento de
	stera Lobos.
_	alores de la distribución del potencial redox en los núcleos de sedimento de
	stera Algodones
	alores de la distribución del potencial redox en los núcleos de sedimento de
la laguna co:	stera Guásimas
Tabla 15. V	alores de la distribución de FeS <sub>z</sub> /gs, Fe-FeS <sub>z</sub> /gs, S-FeS <sub>z</sub> /gs y S-FeS <sub>z</sub> /gh en
	le sedimento de la laguna costera Lobos
Tabla 16. V	alores de la distribución de FeS <sub>z</sub> /gs, Fe-FeS <sub>z</sub> /gs, S-FeS <sub>z</sub> /gs y S-FeS <sub>z</sub> /gh en
	de sedimento de la laguna costera Algodonesalores de la distribución de FeS <sub>z</sub> /gs, Fe-FeS <sub>z</sub> /gs, S-FeS <sub>z</sub> /gs y S-FeS <sub>z</sub> /gh en
	de sedimento de la laguna costera Guásimasalores de la distribución de S-SO <sub>4</sub> ²/gh, S-S²/gh, S-FeS <sub>2</sub> /gh y Stot/gh en los
Tabla 19. V	edimento de la laguna costera Lobos alores de la distribución de S-SO <sub>4</sub> ²/gh, S-S²/gh, S-FeS <sub>2</sub> /gh y Stot/gh en los
núcleos de s <b>Tabla 20.</b> V	edimento de la laguna costera Algodones alores de la distribución de S-SO₄²/gh, S-S²/gh, S-FeS₂/gh y Stot/gh en los
	edimento de la laguna costera Guásimas

#### LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla 21. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.  Tabla 22. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.  Tabla 23. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.  Tabla 24. Coeficiente de difusión (Ds) del ión SQ,² en los núcleos de sedimento.  Tabla 25. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato sin considera bioturbación.  Tabla 26. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato sin considera bioturbación.  Tabla 27. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato con bioturbación.  Tabla 28. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato con bioturbación.  Tabla 29. Estimaciones para la concentración asintótica (μg-at/gh).  Tabla 30. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pinta sin considera bioturbación.  Tabla 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pinta sin considera bioturbación.  Tabla 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pinta sin considera bioturbación.  Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (μποι/cm²/año).  Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos  Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año) de sulfatos  Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año).  Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años).  Tabla 37. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año).  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio.  Tabla 40. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita.  Tabla 43. Concentración de pirita de otros estudios.  Tabla 44. Concentración de pirita de otros estudios.  Tabla 45. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguna costera Algodones.	
Tabla 22. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones	
Algodones Tabla 23. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas Guásimas  Tabla 24. Coeficiente de difusión (Ds) del ión SO4º en los núcleos de sedimento  Tabla 26. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato sin considera bioturbación Tabla 26. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato sin considera bioturbación Tabla 27. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato con bioturbación Tabla 28. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato con bioturbación Tabla 29. Estimaciones para la concentración asintótica (µg-at/gh) Tabla 30. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pirita sin considera bioturbación Tabla 31. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pirita sin considera bioturbación Tabla 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pirita sin considera bioturbación Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (µmol/cm³/año) Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año) Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año) Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años) Tabla 37. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año) Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²) Tabla 41. Cantidades totales (ton/m²) Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 45. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagun- costera Lobos. Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagun-	
Tabla 23. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas	
Guásimas Tabla 24. Coeficiente de difusión (Ds) del ión SO <sub>4</sub> ? en los núcleos de sedimento Tabla 25. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato sin considera bioturbación Tabla 26. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato sin considera bioturbación Tabla 27. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato con bioturbación Tabla 28. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato con bioturbación Tabla 29. Estimaciones para la concentración asintótica (µg-at/gh) Tabla 30. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pirita sin considera bioturbación Tabla 31. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pirita sin considera bioturbación Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (µmol/cm³/año) Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año) Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año) Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años) Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año) Tabla 38. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año) Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundicomparados con este estudio Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²) Tabla 41. Cantidades totales (ton/m²) Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 45. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguncostera Lobos Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguncostera Algodones	
Tabla 24. Coeficiente de difusión (Ds) del ión SO₂² en los núcleos de sedimento	
Tabla 26. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato sin considera bioturbación	abla 24. Coeficiente de difusión (Ds) del ión SO.2 en los núcleos de sedimento
Tabla 26. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato sin considera bioturbación	
Tabla 26. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato sin considera proturbación	
bioturbación Tabla 27. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato con bioturbación	abla 26. Parámetros w. k v Go del Modelo de Berner. Sulfato sin considera
Tabla 28. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato con bioturbación	
Tabla 29. Estimaciones para la concentración asintótica (μg-at/gh) Tabla 30. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pirita sin considera bioturbación Tabla 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pirita sin considera bioturbación Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (μmol/cm³/año) Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año) Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año) Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años) Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año) Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año) Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio. Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²) Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m². Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 45. Concentración de sulfatos de otros estudios Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos. Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	abla 27. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Sulfato con bioturbación
Tabla 30. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pirita sin considera bioturbación	abla 28. Parametros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato con bioturbación
bioturbación  Tabla 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pirita sin considera bioturbación  Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (µmol/cm³/año)  Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos  Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año)  Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año)  Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)  Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (tor/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguna costera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguna costera Algodones.	abla 29. Estimaciones para la concentración asintótica (µg-at/gh)
Tabla 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pirita sin considera bioturbación	abla 30. Parámetros estimados por Regresión No Lineal. Pinta sin considera
bioturbación  Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (µmol/cm³/año)  Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos  Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año)  Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año)  Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)  Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	ioturbación
Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (µmol/cm³/año)  Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos  Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año)  Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año)  Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)  Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	abla 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pirita sin considera
Tabla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos  Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año)  Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año)  Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)  Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	
Tabla 34. Constante en B en mM (cm²/año)  Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año)  Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)  Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundicomparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	'abla 32. Velocidad de formación de pirita (μmol/cm³/año)
Tabla 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año)  Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)  Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundicomparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfuros de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	abla 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos
Tabla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)  Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (tor/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	abla 34. Constante en B en mM (cm²/año)
Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)  Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (tor/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfuros de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	
Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año)  Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfuros de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	abla 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años)
Tabla 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio	abla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año)
comparados con este estudio  Tabla 40. Cantidades totales (ton/m²)  Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfuros de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	
Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfuros de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	Allowed the contract of the co
Tabla 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m².  Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita  Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios  Tabla 44. Concentración de sulfuros de otros estudios  Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios  Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	omparados con este estudio
Tabla 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita	abla 40. Cantidades totales (torum-)
Tabla 43. Concentración de sulfatos de otros estudios	able 41. Camidades totales (ing-augi) por m-
Tabla 44. Concentración de sulfuros de otros estudios	
Tabla 45. Concentración de pirita de otros estudios	
Tabla 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagun costera Lobos	
costera Lobos.  Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagunicostera Algodones.	
Tabla 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la lagun- costera Algodones.	and the second of the second o
costera Algodones.	
costera Guásimas.	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·



1977)
(o) contra la profundidad en Long Island Sound (Modificado por Berner, 1985) Figura 4. Cambios en la cantidad de C-orgánico y Azufre en sedimentos, suponiendo que todo el carbono es utilizado para el proceso de sulfato-reducción (Kaplan, <i>et al.</i>
1963).
Figura 5. Correlación lineal entre la cantidad de C-orgánico y azufre en sedimentos, s solamente un tercio del C inicial es utilizado para sulfato-reducción (Kaplan, <i>et al.</i>
1963).
Figura 6. Azufre y C-orgánico medido en la fracción sólida del sedimento extraído de diferentes profundidades para ambientes marinos recientes. Frontera continental de California: Cuenca de Catalina, Cuenca de Cortez, Cuenca de Santa Barbara. Datos
adicionales de: Kaplan <i>et al.</i> (1963), y otros
Figura 7. Ocurrencia de diagénesis y no diagénesis (Berner, 1980a)
Figura 8. Lagunas costeras del estado de Sonora que comprende el área de estudio
Figura 9. Localización de los puntos de muestreo en la laguna costera Lobos
Figura 10. Localización de los puntos de muestreo en la laguna costera Algodones
Figura 11. Localización de los puntos de muestreo en la laguna costera Guásimas
Figura 12. Distribución de los principales grupos texturales existentes en los
sedimentos superficiales de las lagunas, (Villalba, et al., 1989).
Figura 13. Diagrama de flujo de la fase experimental.
Figura 14. Sistema de digestión anaerobio (SDA)
Figura 15. Comportamiento de la distribución del pH en los núcleos de sedimento de
las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C)
Figura 16. Comportamiento de la distribución del porcentaje de humedad en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásima:
(C)
Figura 17. Comportamiento de la distribución del porcentaje del carbono orgánico
oxidable en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodone:
(B) y Guásimas (C)
Figura 18. Comportamiento de la distribución de la porosidad en los núcleos de
sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C) Figura 19. Comportamiento de la concentración de sulfatos (SO <sub>4</sub> ²) en el agua
intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodone
(B) y Guásimas (C)
Figura 20. Comportamiento de la concentración de sulfatos en base húmeda (SO
/gh), en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobo
(A), Algodones (B) v Guásimas (C)



#### LISTA DE FIGURAS (continuación)

	rag.
Figura 21. Comportamiento de la concentración de sulfatos en base seca (SO,2/gs). en	
el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (+).	
Algodones (B) y Guásimas (C)	74
Figura 22. Comportamiento de la concentración de sulfuros (mM/l) en el	
agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras:	
Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C)	75
Figura 23. Comportamiento de la concentración de sulfuros en base húmeda (Signa)	
en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (±).	
Algodones (B) y Guásimas (C)	77
Figura 24. Comportamiento de la concentración de sulfuros en base seca (S²/gs) en el	
agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (±).	
Algodones (B) y Guásimas (C).	78
Figura 25. Distribución de sulfato y sulfuro en los sedimentos de la laguna costera	
Lobos	80
Figura 26. Distribución de sulfato y sulfuro en los sedimentos de la laguna costera	
Algodones	81
Figura 27. Distribución de sulfato y sulfuro en los sedimentos de la laguna costera	
Guásimas. Figura 28. Comportamiento de la distribución de pirita (FeS <sub>2</sub> ) en los núcleos ce	82
sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C)	85
base seca, en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobes	
(A), Algodones (B) y Guásimas (C)	86
Figura 30. Comportamiento de la distribución de S de la pirita (FeS <sub>2</sub> ) en base seca en	
los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y	
Guásimas (C)	87
Figura 31. Comportamiento de la distribución de S de la pirita (FeS <sub>2</sub> ) en	
base húmeda en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos	
(A), Algodones (B) y Guásimas (C)	88
Figura 32. Comportamiento de la distribución de azufre total en los núcleos ce	
sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C)	89
Figura 33. Comportamiento de la distribución del porcentaje de azufre total en forma	
de pirita en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodon∈s	
(B) y Guásimas (C)	90
Figura 34. Comportamiento de la distribución de la concentración de sulfuro, sulfata y	
pirita total en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos	91
Figura 35. Comportamiento de la distribución de la concentración de sulfuro, sulfate y	
pirita total en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.	92

Pág

#### LISTA DE FIGURAS (continuación)

	. <b></b>
Figura 36. Comportamiento de la distribución de la concentración de sulfuro, sulfato y	
pirita total en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas	93
Figura 37. Comportamiento del grado de piritización en los núcleos de sedimento de	
las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C)	95
Figura 38. Comportamiento de la relación entre el grado de piritización y el carbono	图 在电影
orgánico oxidable en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos	97
Figura 39. Comportamiento de la relación entre el grado de piritización y el carbono	
orgánico oxidable en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones	98
Figura 40. Comportamiento de la relación entre el grado de piritización y el carbono	
orgánico oxidable en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas,	99
Figura 41. Distribución del carbono orgánico oxidable y pirita en los núcleos de	
sedimento de la laguna costera Lobos.	100
Figura 42. Distribución del carbono orgánico oxidable y pirita en los núcleo de	
sedimento de la laguna costera Algodones	101
Figura 43. Distribución del carbono orgánico oxidable y pirita en los núcleos de	
sedimento de la laguna costera Guásimas.	102
Figura 44. Comportamiento del carbono orgánico oxidable y pinta en las lagunas	
costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C)	103
Figura 45. Distribución del carbono orgánico oxidable y sulfato en los núcleos de	
sedimento de la laguna costera Lobos.	105
Figura 46. Distribución del carbono orgánico oxidable y sulfato en los núcleos de	
sedimento de la laguna costera Algodones.	106
Figura 47. Distribución del carbono orgánico oxidable y sulfato en los núcleos de	
sedimento de la laguna costera Guásimas	107
Figura 48. Distribución del potencial redox y pirita en los núcleos de sedimento de la	
laguna costera Lobos.	108
Figura 49. Distribución del potencial redox y pirita en los núcleos de sedimento de la	
laguna costera Algodones.	109
Figura 50. Distribución del potencial redox y pirita en los núcleos de sedimento de la	
laguna costera Guásimas.	110
Figura 51. Distribución del potencial redox y sulfatos en los núcleos de sedimento de la	
laguna costera Lobos	111
Figura 52. Distribución del potencial redox y sulfatos en los núcleos de sedimento de la	
laguna costera Algodones	112
Figura 53. Distribución del potencial redox y sulfatos en los núcleos de sedimento de la	
laguna costera Guásimas.	113
Figura 54. Curvas ajustadas para sulfato y pinta. Laguna costera Lobos	119
Figura 55. Curvas ajustadas para sulfato y pirita. Laguna costera Algodones	120
Figura 56. Curvas aixistedas para sulfato y pirita. Laguna costera Guásimos	121

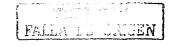
#### LISTA DE FIGURAS (continuación)

	Pág.
Figura 57. Velocidad de formación de pirita en los sedimentos de la laguna costera	124
Figura 58. Velocidad de formación de pirita en los sedimentos de la laguna costera Algodones	125
Figura 59. Velocidad de formación de pirita en los sedimentos de la laguna costera Guásimas	125
Figura 60. Relación de la vida media del carbono orgánico oxidable de los núcleos de sedimento con el potencial redox de éstos	129
Figura 61. Tasa de acumulación de sulfatos presente en la columna sedimentaria para	
las tres lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C)	131
Figura 62. Tasa de acumulación de pinta presente en la columna sedimentaria para las tres lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).	132
Figura 63. Modelo geoquímico de flujos químicos sedimentarios. (Según Clark et al., 1998)	139
Figura 64. Vías de óxido-reducción en el mecanismo SO <sup>2</sup> , → FeS, en el sedimento.	
(Según Goldhaber y Kaplan, 1974)	152
Figura 65. Posibles efectos que tienen influencia en la columna de sedimento. Mee L.D. Comunicación personal	155
at the contract of the first contract of the c	

### KATTA TEN

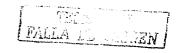
#### RESUMEN

En las lagunas costeras Lobos, Algodones y Guásimas del Estado de Sonora, México, se estudió la concentración y distribución de sulfuros y sulfatos en las fases líquida y sólida de núcleos cortos (de 0 a 70 cm.), de sedimento, así como la distribución de pirita: además. se determinó carbono orgánico oxidable, potencial de hidrógeno, porcentaje de agua y porosidad. Se apreció la existencia de cambios espaciales y temporales para sulfatos, sulfuros y pirita. Se estudió el grado de piritización (GP) del sedimento, encontrándose que relativamente poco hierro del sedimento ha sido transformado a pirita y que no es un factor limitante en su formación. El proceso de piritización se puede considerar como una trampa para los iones sulfato del agua intersticial. Se aplicó la ecuación diagenética al ciclo del azufre en los núcleos del sedimento, con lo cual se calculó el coeficiente de difusión del ión sulfato (Ds = 8.0 a  $8.5 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/seg), así como su concentración asintótica (0.4997 a 4.2493 mg-at/gh), la velocidad de sedimentación de sulfato (w = 0.1405 a 0.8686 cm/año), la velocidad de sedimentación de pirita (w = 0.1765 a 0.4555 cm/año), la constante de decaimiento para la materia orgánica (0.00079 a 0.03619 1/año). Además se determinó la velocidad de formación (R) de pirita a partir de la reducción de sulfato y se apreció que la velocidad disminuye a medida que se incrementa la profundidad del núcleo. Se estimó a través de la concordancia en la rapidez de cambio de sulfato, carbono orgánico y pirita en la columna de sedimento, que la pirita es autogénica y que el contenido de carbono orgánico tiene dos funciones, controla en un buen porcentaje el grado de reducción del sistema sedimentario y sirve como combustible para la formación de pirita. Las tasas de sedimentación obtenidas a través del modelo diagenético utilizado, expresan que la materia orgánica presente en estos cuerpos costeros es más reactiva y las tasas de descomposición correspondientes son más altas, debido a que las condiciones anóxicas en los primeros centímetros de profundidad del sedimento son muy frecuentes. Aunque el modelo de distribución del SO<sub>4</sub><sup>2</sup>- disuelto en sedimento presentado en este estudio es simplificado e idealizado, proporciona puntos de partida para futuras investigaciones en lagunas costeras en México.



#### **SUMMARY**

In the coastal lagoons Lobos, Algodones and Guasimas of the State of Sonora, Mexico, a study has been developed on the concentration and distribution of sulfur and sulfate on its liquid and solid phase of short nucleus sediment (from 0 to 70 cm). As well as, the pyrites distribution, the oxided organic carbon, the hydrogen potential, the water percentage and its porosity. Spatial and seasonal changes in sulfates, sulphur and pyrites were observed. The grade of pyritization (GP) on the sediments was studied, finding that very little iron of sediment has been transformed to pyrite and that it is not a limitant factor on its formation. The process of pyritization can be considered as a trap for the sulfate ions on interstitial water. The diagenetic equation was applied to the sulphur cycle on the sediment nucleus, in which the ion sulfate diffusion coefficient was calculated (Ds =  $8.0 \text{ a } 8.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{seg}$ ), as well as the asyntotic concentration (0,4997 a 4.2493 mg-at/gh), the velocity of sulfate sedimentation (w = 0.1405 a 0.8686 cm/año) and the pyrite (w = 0.1765 a 0.4555 cm/año). Furthermore, the pyrite velocity formation (R), was also determined from the sulfate reduction and it showed decrease in velocity in the way that the deep nucleus increases. Through the fast changes of sulfate, organic carbon and pyrite on the sediment column, the pyrite is autogenic and the content of organic carbon has two functions, it controls in a good percentage the degree of reduction on the sedimentary system, which is served as a fuel for the pyrite formation. The level of sedimentation estimated was obtained through the diagenetic model which was used, expressing the organic material present in those cost bodies is more reactive and the degree of decomposition corresponding is higher due to the anoxic conditions in the first deep centimeters of sediments are very common. Eventhough the distribution model of sulfates dissolved in the sediment in this study is simplified and idealized, it offers starting point for further research on the lagoons of the coast in Mexico.



#### INTRODUCCION

El ciclo del azufre usualmente domina la actividad metabólica anaeróbica y químicoautotrófica en sedimentos marinos ricos en materia orgánica (Goldhaber y Kaplan, 1974; Jørgensen, 1983; Chanton et al., 1987; Canfield, 1989a; Calvert y Karlin, 1991). Lo anterior produce como resultado minerales de azufre autigénicos caracterizados comúnmente por pirita, formados durante la diagénesis y en el ciclo sedimentario del azufre y en forma muy acoplada con el carbono y oxígeno (Berner, 1989). Relaciones recurrentes han sido observadas entre los suplementos de carbono reactivo orgánico reductor, los de sulfato (salinidad), la disponibilidad de Fe reactivo y la formación de azufre como pirita en sedimentos recientes (Berner, 1984; Berner y Raiswell, 1984; Canfield, 1989 b; Morse y Berner, 1995). Estas relaciones han sido usadas para inferir la existencia de remineralización de carbono en sedimentos recientes y de características geoquímicas, tal como salinidad y niveles de oxígeno en la interfase agua-sedimento, de depósitos ambientales antiguos (Raiswell et al., 1988; Berner, 1989). En contraste, en los estudios de diagénesis de núcleos superficiales costeros (0 a 3 m), los sedimentos muestran que grandes cantidades de reactivos como C-orgánico, Fe y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y relativamente poco azufre se deposita, en comparación con otros sedimentos marinos de tipo pelágico (Aller et al., 1986).

La diagénesis reciente de los sedimentos está dominada por la presencia de Fe y Mn, los cuales inciden en la solubilidad de los sulfuros metálicos y juegan un papel importante en la actividad biogeoquímica de los sedimentos (Murray, 1975 a,b; Eaton, 1979; Sørensen y Jørgensen, 1987; Canfield, 1989 a; Fossing, 1990; Canfield et al., 1992).

En sistemas biológicos, los compuestos de azufre se han estudiado extensivamente, sobre todo con respecto a los procesos de sulfato-reducción bacteriana, su mineralización y los mecanismos que miden las transformaciones de las especies de azufre en el sistema marino (e.g. Kemp y Thode, 1968; Fenchel y Riedl, 1970; Jørgensen y Fenchel, 1974; Howarth y



Teal, 1979; Howarth, 1979; Chanton et al., 1987; Perry y Pedersen, 1993; Urban et al., 1994; Gagnon et al., 1995; Leventhal, 1995; Aller y Blair, 1996).

La especie química del azufre como sulfato es transformada a través de dos procesos: primero, por medio de la precipitación de sulfato como sulfato de calcio y segundo por la reducción bacteriana de los compuestos de sulfato a ácido sulfhídrico, el cual posteriormente es transformado a pirita, si el medio le es propicio.

De acuerdo con Berner (1970 b), la precipitación de sulfato como CaSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en el medio marino no es muy significativa, de ahí que el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disuelto sea removido, dependiendo de las condiciones del medio, principalmente a través del proceso de reducción bacteriana. En sí, para la formación de FeS<sub>2</sub> podría considerarse una serie de procesos que estarian limitando su formación, desde la remoción del SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> del agua marina hasta la fijación mínima del azufre primario del SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> a pirita (FeS<sub>2</sub>). Entre los procesos más limitantes se encuentran:

- a. Disponibilidad de materia orgánica metabolizable.
- b. Actividad de bacterias sulfato-reductoras.
- c. Presencia de hierro detrítico.
- d. Aportación de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> al sedimento a través de su difusión en la interfase sedimento-agua.

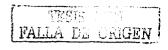
Los diferentes cambios o transformaciones biogeoquímicas de los compuestos de azufre desde su estado de mayor oxidación (SO<sub>4</sub><sup>2</sup>) hasta su nivel de máxima reducción (FeS<sub>2</sub>) se dan de acuerdo a las limitaciones y condiciones óxido-reductoras del medio.

En 1964, Robert A. Berner presentó un modelo idealizado para explicar la distribución de sulfato en sedimentos recientes. El modelo considera que los procesos involucrados más importantes son: difusión iónica, depositación más compactación y reducción sulfato bacteriana. Berner calculó el coeficiente de difusión y la razón de reducción sulfato bacteriana, utilizando ecuaciones diferenciales parciales y comprobó que los resultados del modelo comparados con los obtenidos por Kaplan et al. (1963), por métodos independientes, son



similares. Aunque el modelo es sencillo (no considera otros procesos como la bioturbación), es considerado como un punto de partida, esencial para el estudio de la sulfato-reducción.

El presente trabajo tiene como objetivo primordial el de conocer la diagénesis química, la distribución y comportamiento de diferentes formas de azufre aplicándose el modelo de Berner para obtener una mejor concepción de lo que esta sucediendo en tres lagunas costeras del Estado de Sonora, así como su modelación diagenética. Adicionalmente, se efectuó un inventario del azufre en cada uno de los sistemas lagunares.



#### OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es conocer el comportamiento de las especies químicas de azufre en tres lagunas costeras de Sonora, así como también conocer la dinámica geoquímica en la columna sedimentaria.

#### Objetivos específicos

- Valoración de la velocidad de formación de pirita y de la metabolización de la materia orgánica.
- Aplicación de una modelación matemática en el comportamiento de especies químicas de azufre, como medida esencial y fundamental del conocimiento del proceso de sulfato-reducción bacteriana;
- 3. Determinación de indicadores básicos como:
  - vida media del carbono orgánico oxidable.
  - tasa de acumulación sedimentaria.
  - razón de sulfato-reducción integrada.
  - el inventario del azufre sedimentario.

#### ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

#### Diagénesis

La química de la capa bentónica en un sistema acuático está intimamente relacionada con la física, geología y biología de la región. En los sedimentos es donde las reacciones químicas y bioquímicas toman lugar, ya que sus constituyentes (minerales, materia orgánica, agua de mar) no se encuentran en equilibrio químico. Como resultado de la gran relación o proporción del área de superficie sólida con el volumen de agua intersticial (especialmente en sedimentos de grano fino), las concentraciones de especies en el agua intersticial pueden variar apreciablemente y dar como resultado gradientes de concentración elevados entre el agua intersticial del sedimento y el agua suprayacente, y así producirse flujos de constituyentes disueltos en la interfase sedimento-agua en los dos sentidos (Jensen y Anderson, 1987).

Las reacciones químicas diagenéticas pueden ocurrir durante y después de depositarse la particula en la columna sedimentaria. Estas reacciones se llevan a cabo y son mediados por la actividad de microorganismos (bacterias) que dominan la química del agua intersticial (Manhein y Sayles, 1974; Martens y Klump, 1984; Crill y Martens, 1987; Henrichs y Reeburgh, 1987; Lin y Morse, 1991). Las reacciones biogeoquímicas en el sedimento están muy relacionadas con la materia orgánica depositada. Lo anterior nos dá un índice o una razón de la dependencia de los procesos químicos de la capa bentónica con los procesos biológicos, físicos, geológicos y químicos que ocurren.

La descomposición de materia orgánica implica procesos como la remoción de oxígeno disuelto, producción de dióxido de carbono, reducción de nitrato, reducción de sulfato, producción de amonia, fosfato, ácido sulfhídrico y metano. Muchos estudios han demostrado éstas reacciones en los sedimentos superficiales (e.g. Emery y Rittenberg, 1952; Rittenberg et al., 1955; Kaplan et al., 1963; Presley y Kaplan, 1968; Hartman y Nielsen, 1969; Reeburg, 1969; Berner et al., 1970; Bray et al., 1973; Manhein y Sayles, 1974; Martens y Berner, 1974; Goldhaber, 1974; Hines y Jones, 1985; Edenborn et al., 1987; Oenema, 1990).



Se han desarrollado estudios de laboratorio usando cultivos puros y con sustratos orgánicos bien definidos para dilucidar los mecanismos que se llevan a cabo en los sedimentos. Los resultados son utilizados directamente para evaluaciones debido a la complejidad química y microbiológica de los sistemas naturales (Kaplan y Rittenberg, 1964; Alperin y Reeburgh, 1985; Burdige y Nealson, 1986; Brezonik et al, 1993). Idealmente, una combinación del modelaje cinético del agua intersticial con estudios controlados en laboratorio y mediciones en el sedimento podría darnos la mejor aproximación acerca del comportamiento diagenético en el sedimento. Es así que, productos de reacciones bacterianas pueden dar lugar a cambios en la química del sedimento. Se puede decir que la química del agua intersticial en el sedimento sería muy sencilla si no ocurriera la descomposición de la materia orgánica.

#### Materia orgánica

La causa principal de los cambios en la composición química del agua intersticial es debida a la descomposición de la materia orgánica durante los procesos diagenéticos, desarrollándose ésta mayor actividad diagenética en las capas superiores del sedimento, lo cual es debido a la existencia de gran cantidad de materia orgánica metabolizable en la región superficial del sedimento.

El papel que tiene la acumulación de materia orgánica en los ciclos geoquímicos del carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo, y su función en el cambio global, es por ahora la motivación más importante para desarrollar estudios detallados de los procesos que controlan la descomposición de la materia orgánica y el reciclamiento de productos mineralizados.

La degradación de la materia orgánica es un proceso biológico dentro del sedimento, en el cual intervienen la macro y microfauna. De tal manera que, en sedimentos donde se tiene alta sedimentación, la materia orgánica es degradada rápidamente, mientras que en sedimentos con baja sedimentación es apreciable la cantidad de materia orgánica que puede ser destruida arriba de la interfase sedimento-agua. Los compuestos orgánicos son consumidos por reacciones basadas en la eliminación de grupos funcionales por deaminación, descarboxilación



e intermoleculares (Price, 1976; Chanton et al., 1987; Henrichs y Reeburgh, 1987; Emerson y Hedges, 1988; Jahnke, 1990). Las lagunas costeras que estudiamos son ambientes donde las velocidades de sedimentación son altas, en relación a los ambientes de mar abierto. En una compilación de datos sobre tasas de sedimentación en diferentes lagunas costeras del mundo, Knoppers (1994), encontró un intervalo de 0.02 a 2.0 cm/año, siendo más frecuentes los valores de 0.1 a 1.0 cm/año.

Heath et al., (1976), calculó una relación entre la acumulación de carbón orgánico y la velocidad de sedimentación para sedimentos oceánicos:

Müller y Suess, (1979), propusieron la siguiente expresión para la concentración de carbono orgánico en sedimentos marinos y la tasa de producción primaria:

C org.(%) = 
$$3 \times 10^{-3} (\text{Rc} \times 5^{0.3}) / [\text{ds}(1-\omega)]$$

donde:

C org.(%) = concentración de carbono orgánico en sedimento seco.

Rc = producción primaria en agua superficial (gm<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup>).

ds = densidad del sedimento.

 $\varphi = porosidad.$ 

Henrichs and Reeburgh, (1987), encontraron otra relación usando una ecuación simplificada:

$$C \text{ org.}(\%) = s^{0.4}/2.1$$

donde:

s = sedimentación (cm a<sup>-1</sup>).

La composición química del agua intersticial cambia rápidamente las condiciones sedimentarias en una laguna costera. Anderson et al. (1986), estimaron un lapso de un año para tener las características del agua intersticial ajustadas a las condiciones sedimentarias, lo cual permite que se tengan cambios estacionales en la parte superior de la columna de sedimento (perfil de agua intersticial), lo anterior se da en forma más frecuente cuando se tienen tasas de sedimentación orgánica altas (Rutgers van der Loeff, 1980; Elderfiel et al., 1981 ab; Jørgensen y Sørensen, 1985; Martin y Bender, 1988).

El proceso más importante en la diagénesis de la materia orgánica, desde una perspectiva global, es la sulfato-reducción. La reducción del SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> se dá en ambientes de alta sedimentación tanto en materia orgánica como inorgánica, principalmente en aguas costeras de poca profundidad, con alta productividad primaria y sedimentación fangosa. Edenborn, et al., (1987), Sørensen y Jørgensen, (1987), Thode-Andersen y Jørgensen, (1989), Oenema, (1990) y Lin y Morse (1991), encontraron que el proceso de sulfato reducción puede darse en microambientes de agregados orgánicos en la zona óxica.

La reducción del SO<sub>4</sub><sup>2</sup>- puede ser formulada por la siguiente ecuación, Aller, (1983):

$$(CH_2O)_x (NH_3)_y (H_3PO_4)_z + 0.5xSO_4^{2-} \rightarrow xCO_2 + yNH_4^+ + zHPO_4^{2-} + (-0.5x-y-2z)H^+ + 0.5xHS^+ + xH_2O_4^{2-} + (-0.5x-y-2z)H^+ + 0.5xHS^- + xH_2O_4^{2-} + (-0.5x-y-2z)H^+ + (-0.5x-y-2z)H^- + ($$

o en la ecuación estequiométrica de Redfield, y en combinación con las reacciones de disociación para agua y ácido carbonico:

$$(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}(H_3PO_4) + 53 SO_4^{2-} \rightarrow 39CO_2 + 67HCO^{3-} + 16NH_4^+ + HPO_4^{2-} + 53HS^- + 39H_2O^{3-}$$

Las reacciones producen un incremento en la alcalinidad (bicarbonato, fosfato, sulfuro) causando un aumento en el pH que es parcialmente compensado por el incremento simultáneo en la concentración de CO<sub>2</sub>. El incremento de pH depende de la acción amortiguadora de los constituyentes del sedimento (Emerson *et al.*, 1980) y de la formación de los minerales de sulfuro. Berner (1984 y 1985), esquematiza los pasos en la formación de minerales de azufre finalizando hasta la formación del compuesto más estable, la pirita (Fig. 1):



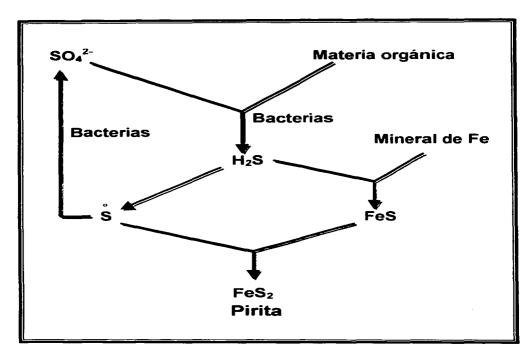


Fig. 1. Esquema de la formación de Pirita (Berner, 1985).



La precipitación de mackinawita (FeS) puede reducir el incremento de la akalinidad en forma drástica a través de la siguiente reacción:

$$Fe^{2+} + HS^{-1} \rightarrow FeS + H^{+}$$

Por otra parte, la formación de pirita involucra la oxidación parcial de sulfuro, resaltando el incremento de alcalinidad:

$$2FeOOH + 4H^{+} + 2HS^{-1} \rightarrow FeS_{2} + Fe_{2+} + 4H_{2}O$$

En la última reacción, el S<sup>-2</sup> es oxidado a S<sup>-1</sup>. En lugar de FeOOH, el Fe<sup>+3</sup> es igualmente absorbido en la arcilla o MnOx y puede servir como un oxidante en la zona subóxica. Aunque no es visible en la ecuación anterior, la precipitación de pirita ocurre vía FeS, como una fase precursora. La pirita en contacto con el oxígeno es inestable, lo cual pudiera implicar que su formación ocurre actualmente en la frontera o interfase entre condiciones subóxicas y anóxicas (Giblin y Howard, 1984; Sørensen y Jørgensen, 1987; Feijtel *et al.*, 1988; Oenema, 1988). En la Fig. 2, se muestra un esquema donde Jørgensen presenta la transformación del azufre.

La presencia de pirita en sedimentos recientes o viejos, puede ser usada en el diagnóstico de los ambientes sedimentarios. Berner (1985), estableció que en un sedimento marino depositado en agua oxigenada, la formación de pirita está limitada por la concentración y reactividad de la materia orgánica, mientras que en un depósito no anóxico está limitada por la abundancia y reactividad de las fases detríticas de Fe (Boesen y Postma, 1988).

La cantidad de pirita formada en los sedimentos más o menos homogéneos está relacionada al HS<sup>-1</sup> producido en la reducción de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> utilizado para metabolizar los compuestos orgánicos. Cuando éstos procesos empiezan dentro de la columna sedimentaria, la relación entre pirita y carbón orgánico puede ser representada en una gráfica por una línea recta a través del origen.

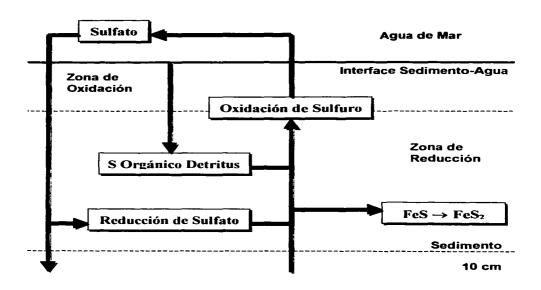


Fig. 2. Transformación del azufre en un sedimento marino costero (Jørgensen, 1977).

Sin embargo, cuando la pirita es formada en la columna de agua y en la parte superior del sedimento, como podría ser el caso de los sedimentos en ambiente oxidante, la línea recta tendrá una intersección con el eje FeS<sub>2</sub>. Tales gráficas pueden ser usadas para distinguir entre los diferentes ambientes sedimentarios, incluyendo sedimentación en agua dulce (Leventhal, 1983; Berner y Raiswell, 1983, 1984; Raiswell y Berner, 1985; Sheu y Presley, 1986; Boesen y Postma, 1988).

La formación de Pirita no está limitada a la fase mineral de Fe(III), su reactividad si la limita. Esto significa que solamente una parte del HS<sup>-1</sup> producido podrá ser fijado en la neoformación del mineral sulfhídrico.

La cantidad de carbono orgánico que es metabolizado por sulfato reducción bacteriana es considerablemente la pirita formada, porque un alto porcentaje de HS se difunde de la zona anóxica hacia la zona óxica donde es oxidado a SO<sub>4</sub><sup>2</sup> otra vez.

La sulfato-reducción depende de la disponibilidad de materia orgánica y de la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (<5nM). A bajas concentraciones de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> las razones de conversión dependen de la disponibilidad de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Berner, 1984). En la parte superior de la columna sedimentaria, la mayor parte de la materia orgánica está presente, comparado con la parte inferior; de una capa a otra, la capacidad de reducción puede verse reflejada como en la Fig. 3.

En sedimentos donde se tiene una rápida depositación, se puede tener más materia orgánica disponible para la sulfato reducción que en donde existe depositación lenta, (Middelburg, 1989). Esto es guía para una relación positiva entre la razón constante promedio de la materia orgánica y la velocidad de depositación. De acuerdo a Berner (1980a), esta relación es:

$$Kc = Aw^2$$

donde:

Kc = razón constante de degradación de la materia orgánica (M/año).

A = constante igual 0.04 (año/cm<sup>2</sup>).

w = velocidad de sedimentación (cm K/año).



# Razón de reducción de sulfato (mM/a) 120 5 10 20 Concentración de sulfato (mM)

Fig. 3. Tasa de sulfato reducción usando trazadores  $S_{35}$  (\*) y concentraciones de  $S_4^{2-}$  (o) contra la profundidad en Long Island Sound (Modificado de Berner, 1985).



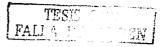
El consumo de  $SO_4^{2-}$  empieza con un gradiente de concentración, lo cual significa que la difusión de  $SO_4^{2-}$  a partir del agua del fondo de la interfase sedimento agua, puede producir una difusión de HS (el cual no está atrapado por minerales sulfurosos) hacia la zona óxica. La reoxidación de HS a  $SO_4^{2-}$  después de una difusión dentro de la zona óxica no dá la misma cantidad, ya que no toda la concentración de HS se oxida hasta  $SO_4^{2-}$ , sino que una parte se transforma a compuestos como tiosulfato y sulfuros entre otros.

#### La función de la sulfato reducción bacteriana en la geoquímica exogénica

La química de los iones más abundantes en el océano es controlada por reacciones que se desarrollan entre la fase acuosa y la fase sólida de origen biogénico y litogénico (Pytkowicz, 1967; Sillen, 1967; Siever, 1968; Broecker, 1971; Garrels y Mackenzie, 1971; Hines y Jones, 1985; Balzer, et al., 1986; Chanton, et al., 1987; Thode-Andersen y Jørgensen, 1989; Jørgensen y Bak, 1990). Estas reacciones pueden aproximarse a tener condiciones de estado estable (pero no necesariamente en equilibrio), implicando que las velocidades de las reacciones puedan determinar las concentraciones de especies disueltas (Morgan, 1967).

Los microorganismos son instrumentos que influyen en las velocidades de muchas de las reacciones geoquímicas importantes en ambientes acuosos. Por ejemplo, los cálculos termodinámicos indican que el ion sulfato puede ser reducido a sulfuro por la materia orgánica en ausencia de oxígeno (Bostrom, 1967; Thorstenson, 1970; Fossing y Jørgensen, 1990), sin embargo ésta reacción no se puede dar a la temperatura y presión de la superficie terrestre, excepto cuando está mediada biológicamente.

La sulfato-reducción biológica es un proceso anóxico y puede ocurrir en la columna de agua como resultado de un alto consumo de oxígeno o pobre circulación. Las velocidades altas de remoción de oxígeno están relacionadas al contenido de materia orgánica particulada y disuelta y a la estabilidad hidrodinámica, la cual prevé la adición de agua oxigenada por advección o difusión (Wyrtki, 1962; Richards,1965a; Martin y Sayles, 1992). La remoción de oxígeno es requerida para iniciar los procesos de sulfato-reducción bacteriana. En ambientes



como el Mar Negro (Caspers, 1957), la fosa del Cariaco (Richards y Vaccaro, 1956) y algunos estuarios, lagunas y fiordos (Strom, 1939; Richards, 1965a; Henrich y Reeburg, 1987; Fossing y Jørgensen, 1990; Oenema, 1990) sucede éste tipo de procesos.

Bajo la columna de agua, sin embargo; las condiciones anóxicas son establecidas más frecuentemente (bajo la interfase sedimento-agua) como una consecuencia de la acumulación de materia orgánica y por restricciones en la concentración de oxígeno. El sulfato disuelto en el agua intersticial del sedimento es removido por bacterias sulfato reductoras. El resultado de la liberación de sulfuro de hidrógeno es tóxico para organismos que respiran.

Las bacterias que actúan en el proceso de sulfato-reducción tienen un papel muy importante en la degradación de la materia orgánica dentro del sedimento. Los productos metabólicos de estas bacterias (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>) son químicamente reactivos e influyen subsecuentemente en los procesos diagenéticos. La precipitación de sulfuros metálicos, precipitación de carbonatos, modificación de pH y generación de metano están asociados con la actividad bacteriana.

Para producir modificaciones en la química del agua intersticial y del sedimento, la transferencia de sulfatos de la columna de agua al sedimento durante la sulfato-reducción es un mecanismo importante, el cual ayuda a mantener una composición relativamente constante del sulfuro añadido a los océanos por los ciclos de erosión (Holser y Kaplan, 1966; Berner, 1971; Garrels y Mackenzie, 1971). La evaluación cuantitativa de estos ciclos requiere del conocimiento de la cantidad de azufre removido de los sedimentos. Dichas estimaciones pueden dar un buen entendimiento de la naturaleza de la diagénesis del azufre.

De acuerdo a Pettijohn (1949), la diagénesis primaria vienen a ser aquella que involucra a las reacciones que se dan dentro del sedimento entre un mineral y otro o entre los minerales y el fluido intersticial. La definición hace énfasis en los cambios químicos y no toma en cuenta a los procesos fisicos tales como la compactación. Lo anterior no es válido para áreas de baja profundidad, donde la diagénesis como la del azufre presenta un enfoque diferente, y en donde la pirita autigénica que se forma a partir de la sulfato-reducción produce cambios en la fase



sólida, así como también en la química del agua intersticial (Ostroumov, 1953; Kaplan et al., 1963; Berner, 1964a; Sweeney y Kaplan, 1980; Edenborn, et al., 1987; Boesen y Postma, 1988; Oenema, 1990; Canfield, et al., 1992; Huerta-Díaz y Morse, 1992).

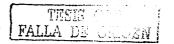
#### Formación de pirita en sedimentos marinos

La pirita formada en el medio ambiente marino se produce como resultado de la reducción bacteriana del ión sulfato proveniente del agua de mar. Esta reacción es acompañada de la oxidación del carbono orgánico a ión bicarbonato, el cual es liberado de nuevo al agua de mar. Por lo tanto, la cuantificación de pirita en los sedimentos puede utilizarse como un indicador del grado de oxidación del carbono orgánico involucrado en esta reacción. Debido a esto, Kaplan et al. (1963), sugiere que la mayor parte de la pirita se forma en la superficie del sedimento y a pocos centímetros de profundidad. Durante la depositación subsecuente, la reducción de sulfatos atrapados en el agua intersticial puede continuar hasta agotarse. La cantidad de pirita que se forma después de la depositación, es limitada por la cantidad de sulfatos atrapados en el agua intersticial, más la adición de sulfatos por difusión desde la columna de agua bajo un gradiente químico. Berner (1964a), sugiere que la cantidad de sulfatos añadidos al sedimento por difusión es de gran magnitud, lo cual produce cambios significativos en la cantidad de pirita y carbono orgánico en la columna sedimentaria.

Kaplan et al. (1963), demostró que para las cuencas marinas aisladas de la corriente directa de los ríos, como el California Borderland, la agregación de azufre al sedimento como minerales o material orgánico no es significativo.

#### Pirita producida por debajo de la interfase sedimento-agua

El primer método para determinar la pirita producida por debajo de la interfase sedimentoagua, implica la determinación de la relación entre carbono orgánico y pirita (especies de sulfuro sólido total) en el sedimento, debido a su interdependencia en los procesos de sulfato



reducción. Los cambios que se observan y que ocurren en los sedimentos son debido a la depositación no uniforme de carbono orgánico, (Bordovsky, 1965). Estos cambios no se deben a la reducción de sulfatos después de la interfase, ya que son incrementados por la gran difusión de sulfatos de la columna de agua.

El segundo método propone analizar los cambios de la composición isotópica de la pirita con respecto a la profundidad en el sedimento. La distribución isotópica del azufre está en contradicción al modelo de una producción inicial constante de pirita en la superficie del sedimento, incrementada subsecuentemente por la continua reducción de sulfatos en el agua intersticial durante su depósito. En resumen, se demuestra que la pirita formada por debajo de la interfase sedimento-agua es concentrada en la fracción más fina del sedimento y que los análisis isotópicos demuestran que existe un balance entre la cantidad de azufre liberado del agua intersticial y la cantidad que es adicionado al sólido como pirita. Esto sugiere que la cantidad de sulfato añadido al sistema por difusión es mínima.

#### Relación pirita-carbono orgánico

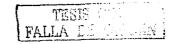
La correlación entre carbono orgánico y pirita en los sedimentos superficiales ha sido demostrada por Berner (1970b), y sugiere que la cantidad de materia orgánica controla la reducción bacteriana de sulfatos, como se muestra mediante la siguiente ecuación. (Kaplan *et al.* 1963):

$$2H CH2O + SO4 \rightarrow S + 2CO2 + 2H2O$$

De tal manera que, el sulfuro reacciona con el hierro disuelto de acuerdo a:

$$Fe^{+2} + 2S \rightarrow FeS_2 + 2e^-$$

En los primeros centímetros de la columna sedimentaria, el reaprovicionamiento de los componentes químicos del agua de mar es tan rápido, comparado a la velocidad de la reacción química, que se observan pocos cambios en el agua intersticial o en el agua que se encuentra



sobre el sedimento superficial (Kaplan et al. 1963). La evidencia de que esas reacciones ocurren es la presencia de grandes cantidades de pirita autigénica. La causa de que la correlación carbono orgánico-pirita pueda existir es que solamente una cierta fracción "reactiva" de la materia orgánica tiende a ser utilizada para la reducción de sulfatos; a esta fracción se le denomina materia orgánica metabolizable.

#### Correlación pirita-carbono orgánico respecto a la profundidad del sedimento

Los cambios en el contenido de carbono orgánico y pirita con respecto a la profundidad en el sedimento, tienen la posibilidad de utilizarse como una herramienta cuantitativa para medir la reducción de sulfatos después de su depositación en el sedimento. Por ésta razón, para cada fracción del núcleo, es importante conocer la cantidad de pirita formada en el sedimento. Berner (1964b), desarrolló un modelo para el cual la cantidad de pirita formada en la superficie del sedimento es constante con respecto al tiempo.

Para este caso, cualquier incremento de azufre en la fracción sólida del sedimento con respecto a la profundidad sería una medida directa de la reducción de sulfatos. Las grandes fluctuaciones en el contenido de pirita no están correlacionadas con la profundidad, pero sí bastante bien con el contenido de carbono orgánico. Esto hace suponer una conclusión previa: el contenido de carbono orgánico de los sedimentos controla el grado de reducción en la interfase sedimento-agua y la reducción subsecuente.

Una excelente ilustración de la reducción de sulfatos ocurre primeramente a los pocos centímetros de profundidad del sedimento, por ejemplo en Kiel Bay, (Hartman y Nielsen. 1969). Aquí, la proporción de carbono orgánico-azufre disminuye rápidamente en los primeros 5 centímetros y después permanece más o menos constante con respecto a la profundidad. Además, la reducción de sulfatos en el agua intersticial está limitada por la cantidad de sulfatos atrapados en el mismo. Si se reduce totalmente esta cantidad de sulfatos, sin que exista un aporte de iones sulfatos por difusión, solamente generará cerca del 0.1% de azufre del sedimento seco, mientras que el contenido promedio en el sedimento es de cerca del 1%.



Lo anterior nos hace deducir que la adición de pirita formada por la reducción de sulfatos después del depósito, contribuye con cantidades medibles de azufre en el sedimento. Sin embargo, las fluctuaciones en la cantidad de materia orgánica depositada en cualquier tiempo producen grandes variaciones en la cantidad de pirita formada en el sedimento superficial. Las variaciones en el contenido de pirita debida a la depositación heterogénea de materia orgánica son más grandes, enmascarando el incremento en el contenido de FeS<sup>2</sup> formada por la reducción de sulfatos después de ser depositadas.

# Distribución de carbono orgánico y sulfuro en sedimentos marinos recientes

Asumiendo que la oxidación del carbono orgánico en la interfase sedimento-agua es insignificante, existe entonces una correlación inversa dependiente del tiempo entre la cantidad de sulfato y la cantidad de carbono orgánico remanente. Es decir:

C. remanente = C. depositado - C. oxidado por la reducción de sulfatos.

De la relación mostrada en la siguiente ecuación:

$$2[CH_2O] + SO_4^{2-} \rightarrow S^{2-} + 2CO_2 + 2H_2O$$

se tiene que 2 moles de carbono son utilizados por cada mol de sulfato reducido, o en términos de pesos involucrados, 1 g de carbono es oxidado por cada 4/3 g de sulfuro producido. La relación se muestra esquemáticamente en la Fig. 4. Sin embargo, no todo el carbono en la materia orgánica depositada en el sedimento es utilizado por la acción bacteriana para producir CO<sub>2</sub>. Kaplan *et al.* (1963) calculó que cerca del 25% del carbono orgánico sedimentado en la cuenca de Santa Bárbara fue utilizado para la reducción de sulfatos. Suponiendo que una tercera parte de la materia orgánica depositada es utilizada y que la cantidad de carbono orgánico depositado varía con el tiempo, se tendrá una relación lineal entre el carbón orgánico remanente y el sulfuro formado en el sedimento (Fig. 5).

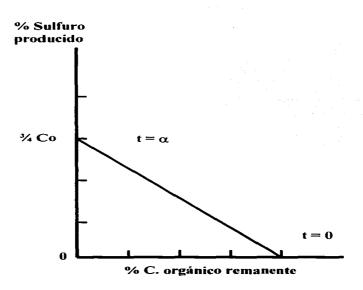


Fig. 4. Cambios en la cantidad de C-orgánico y azufre en sedimentos, suponiendo que todo el carbono es utilizado para el proceso de sulfato-reducción (Kaplan, *et al.*, 1963).

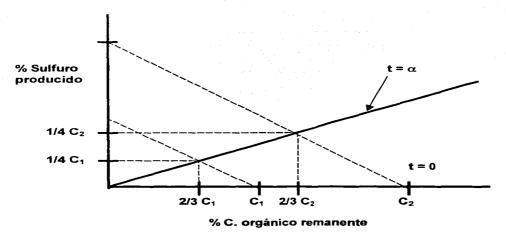


Fig. 5. Correlación lineal entre la cantidad de C-orgánico y azufre en sedimentos, si solamente un tercio de C inicial es utilizado para sulfato-reducción (Kaplan, et al., 1963).



En general, la relación entre el carbono orgánico en el sedimento y el sulfuro producido, puede expresarse en términos de la fracción de carbono utilizado durante la reducción de sulfatos. Es decir:

$$C_D = C_M + C_O$$

donde:

C<sub>D</sub> = Porcentaje de carbono orgánico depositado en el sedimento.

C<sub>M</sub> = Porcentaje de carbono orgánico en el sedimento (medido).

Co = Porcentaje de carbono orgánico oxidado y liberado del sedimento, durante la reducción de sulfatos.

Además, se tiene que:

(b) 
$$C_O = K C_D$$
 y (c)  $C_O = (4/3) S_R$ 

donde:

K = Fracción de carbón orgánico depositado, oxidado durante la reducción de sulfatos.

 $S_R = \%$  de azufre en el sedimento reducido a partir de sulfato.

De (a) despejamos  $C_M$ . De (b) despejamos  $C_D$  y lo sustituimos, junto con (c), en la expresión obtenida para  $C_M$  y obtenemos:

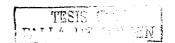
(d) 
$$C_M = 4/3 S_R [(1/K)-1]$$

No todo el sulfato reducido puede ser atrapado en la fracción sólida del sedimento. Algunos sulfuros pueden ser reoxidados a sulfatos. Si éste es el caso y asumiendo que la cantidad reoxidada es una función lineal de esa reducción, se tiene:

(e) 
$$S_0 = X S_R$$
 y (f)  $S_R = S_M + S_O$ 

donde:

So = Cantidad de sulfuro reoxidado a sulfatos, en términos del % de azufre en el sedimento.



X = Fracción del sulfato reducido, reoxidado y liberado del sedimento.

S<sub>M</sub> = Cantidad de sulfuro medido en el sedimento como % de azufre.

Despejando de (f)  $S_M$  y sustituyendo (e) en ésta expresión para  $S_M$  llegamos a:

$$S_M = S_R - X S_R = S_R(1-X)$$

Despejamos S<sub>R</sub> y sustituimos en (d) para obtener:

(g) 
$$C_M = \frac{4[(1/K)-1]S_M}{3(1-X)}$$

Algunos datos de carbono orgánico y azufre medidos en los sedimentos marinos colectados en diferentes estudios se muestran en la Fig. 6. Los datos de los puntos incluyen los análisis del sedimento a varias profundidades, desde la superficie hasta los 500 cm. Se asume, para la escala de mediciones, que la reacción es esencialmente completa en el sedimento superficial y que solamente se induce un pequeño efecto por reacción continua después de su depositación. Los resultados indican una fuerte correlación lineal entre el carbono orgánico medido y los valores de pirita aproximados por la pendiente M.

La pendiente  $M = S_M/C_M$  depende de 2 variables, X y K (de la ecuación g), las cuales pueden ser independientes una de otra, y si ese es el caso, ambas son relativamente constantes.

La fracción de carbono orgánico utilizado por sulfato reducción (K) está en la Tabla 1 para diferentes valores de X (fracción de sulfuro oxidado a sulfato) calculado a partir de la ecuación (g):

**Tabla 1.** Relación de C-orgánico utilizado para sulfato-reducción. Resultados calculados para m = 0.36 de la Fig. 6.

Fracción de sulfuro perdido en el sedimento (X)	0	0.5	0.9
Fracción de C orgánico utilizado para sulfato reducción (K)	0.32	0.48	0.83

TESIS / TESIS

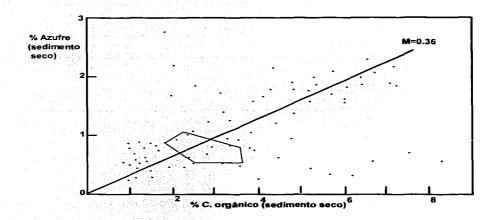


Fig. 6. Azufre y C-orgánico medido en la fracción sólida del sedimento extraído de diferentes profundidades para ambientes marinos recientes. Frontera continental de California: Cuenca de Catalina, Cuenca de Cortez, Cuenca de Santa Barbara. Datos adicionales de: Kaplan et al. (1963)\*, Hartman y Nielsen (1969), Palacas et al. (1968), Berner (1970b), Bordovskiy (1965).

<sup>\*</sup>Las mediciones para la Cuenca de Santa Barbara de Kaplan et al. (1963) se encuentran en el área marcada con raya continua.

(g) 
$$C_M = 4 [(1/K)-1]S_M$$
  
3 (1-X)

Multiplicando por 3(1-X):

$$3(1-X) C_M = 4 [(1/K)-1]S_M$$

Dividiendo por CM:

$$3(1-X) = 4 [(1/K)-1]SM = 4 [(1/K)-1] M$$
CM

Dividiendo por 4M:

$$\frac{3(1-X)}{4M} = (1/K) - 1$$

Sumando 1:

$$\frac{3(1-X)}{4M} + 1 = (1/K)$$

Obteniendo común denominador:

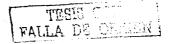
$$3(1-X) + 4M = (1/K)$$

4M

Obteniendo el inverso:

$$\frac{4M}{3(1-X)+4M} = (1/K)$$

La extensión de la oxidación de sulfuros no se conoce y no puede determinarse con estos datos. Si la cantidad es mínima y X es relativamente pequeña entonces, cerca de una tercera parte del carbono depositado se utiliza para la reducción de sulfatos. Esto asume que la reducción de óxido férrico para formar iones ferrosos reaccionan con los sulfuros que fueron producidos por otros medios.



En sentido cualitativo, la relación lineal entre la cantidad de azufre y el carbono en el sedimento sugiere que una pequeña fracción de materia orgánica es utilizada para la reducción de sulfatos. En todos los ambientes incluidos en los datos, existe una reducción de sulfatos en el sedimento superficial pero no en la columna de agua. Para estos sedimentos, la cantidad de pirita formada tiende a ser dependiente del grado de depositación del carbono orgánico.

## Modelos diagenéticos

## Ecuación diagenética general

Los sedimentos de las lagunas costeras poseen propiedades de interés para la caracterización de los ambientes marinos estudiados. Estas propiedades (concentración de minerales, tamaño de grano, contenido de agua, etc.) presentan gradientes horizontales y verticales, además de los cambios presentados en el transcurso del tiempo. Dichas propiedades pueden ser vistas como una función de la posición en el espacio y en el tiempo:

$$p = f(x, y, z, t)$$

donde:

p = propiedad estudiada.

x = coordenada vertical.

y, z = coordenadas horizontales.

t = tiempo.

Sin embargo, se ha observado que como los gradientes verticales son mucho más grandes que los laterales las variables (x) y (y) pueden no ser consideradas. De tal manera que la diagénesis temprana (p) puede ser estudiada por modelos unidimensionales (Berner, 1971).

Por lo que si p = f(x, t) es diferenciable entonces:

$$dp = (\delta p/\delta x)_t dx + (\delta p/\delta t)_x dt$$



## Dividiendo por dt y reacomodando términos:

$$\begin{split} dp/dt &= (\delta p/\delta x)_i \left( dx/dt \right) + (\delta p/\delta t)_x \left( dt/dt \right) \\ dp/dt &= (\delta p/\delta x)_t \left( dx/dt \right) + (\delta p/\delta t)_x \\ dp/dt &- (\delta p/\delta x)_t \left( dx/dt \right) = (\delta p/\delta t)_x \\ (\delta p/\delta t)_x &= dp/dt - (\delta p/\delta x)_t \ w \end{split}$$

donde:

w = dx/dt es llamada razón de depositación ó tasa de sedimentación.

Esta última expresión para  $(\delta p/\delta t)_x$  es llamada la Ecuación Diagenética General, la cual incluye todos los procesos diagenéticos que afectan a p. (Berner, 1971).

El primer término representa las variaciones que tiene la propiedad estudiada (δp) con respecto al tiempo (δt) para una profundidad fija (x). En el segundo término, las variaciones de p son observadas únicamente con respecto al tiempo. El último término representa lo que aporta la depositación (w) y las variaciones de la propiedad p con respecto a la profundidad para un tiempo fijo.

Es posible observar dos casos en esta ecuación:

 La no diagénesis, representada por dp/dt = 0, donde todas las variaciones de p con la profundidad son debidas a las variaciones de p en el tiempo de depositación.

Matemáticamente:

$$(\delta p/\delta t)_x = -w (\delta p/\delta x)_t$$

2. La diagénesis en estado estable, expresada por (dp/dt)<sub>x</sub> = 0 y definida como la situación donde los perfiles de la concentración de un mineral, relativos a la interfase sedimento-agua, permanecen sin alteraciones durante el transcurso del tiempo, (Berner, 1980a). En términos matemáticos:

 $dp/dt = (\delta p/\delta x)_1 w$ 

Lerman (1975), enuncia que un modelo de estado estable es una aproximación aceptable si las edades de la columna de sedimento son comparables a las escalas de tiempo impuestas por las tasas de sedimentación, de difusión y de reacciones que ocurren en la columna sedimentaria. En la Fig. 7 se muestran ambos casos gráficamente (Berner, 1980a).

Berner (1971), establece que si la difusión de una sustancia en el sedimento es consecuencia de las reacciones químicas, entonces el total de los procesos diagenéticos que afecta la concentración de la sustancia puede ser expresada mediante la suma del término difusional y del término correspondiente a las reacciones químicas, todo ésto observado durante el transcurso del tiempo:

$$dC/dt = Ds (\delta^2 C/\delta x^2) + dC/dt_{autim}$$

donde:

 $D(\delta^2 C/\delta x^2) = Difusión.$ 

Ds = Coeficiente de difusión.

dC/dt = Adsorción rápida e intercambio de iones.

C = Concentración de especies en la superficie de sólidos que pueden interactuar rápidamente con el agua intersticial por medio de adsorción, desorción e intercambio de iones.

Aplicando la expresión anterior en la Ecuación Diagenética General, en términos de C, tenemos:

$$(\delta C/\delta t)_x = Ds (\delta^2 C/\delta x^2) + dC/dt_{quim} - (\delta C/\delta x)_t w$$

Para el estado estable:

Ds 
$$(\delta^2 C/\delta x^2) + dC/dt_{quim} - (\delta C/\delta x)_t w = 0$$



# Caso 1. No Diagénesis.



Caso 2. Diagénesis en Estado Estable.

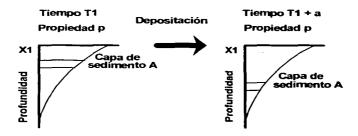


Fig. 7. Ocurrencia de diagénesis y no diagénesis. (Berner, 1980a).

La cinética homogénea de las reacciones químicas de primer orden permite expresar el segundo término en función de una relación constante de primer orden y de C, es decir:

$$dC/dt_{quim} = -k_1C$$

Sustituyendo y reacomodando términos:

Ds 
$$(\delta^2 C/\delta x^2)$$
 -  $(\delta C/\delta x)_t w - k_1 C = 0$ 

Esta ecuación es aplicada a sedimentos anóxicos ya que no se incluye a la bioturbación. Además, se supone que no hay cambios en la porosidad al ser constantes  $k_1$ , Ds y w con respecto a la profundidad (Berner, 1971).

La solución para ésta ecuación diferencial puede ser encontrada utilizando la fórmula general para ecuaciones de segundo grado, donde a = Ds, b = -w y  $c = -k_1$ . Sustituyendo los valores tenemos:

$$C = \frac{-(-w) \pm \sqrt{((-w)^2 - 4(Ds)(-k_1))}}{Ds}$$

$$C = \frac{w \pm \sqrt{(w^2 + 4 Ds k_1)}}{2Ds}$$

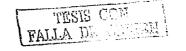
Así obtenemos:

$$C_{a} = w - \sqrt{(w^{2} + 4 Ds k_{1})}$$
  $C_{b} = w + \sqrt{(w^{2} + 4 Ds k_{1})}$   
 $2Ds$   $2Ds$ 

Por lo que la solución general para C es:

$$C = C_0 \exp[C_a] + C_1 \exp[C_b]$$

Haciendo la constante de integración C<sub>1</sub> igual a cero, Berner, (1964b), encuentra que una solución particular fisicamente razonable es:



$$C = C_0 \exp[(w - \sqrt{(w^2 + 4Dsk_1)})/2Ds]$$

Esta ecuación es apropiada para modelar la distribución de especies disueltas que siguen un decaimiento radioactivo sin precipitación o reabastecimiento por disolución de sólidos. (Berner, 1971).

Sulfato. Berner, (1971), establece que los procesos que afectan la concentración de sulfato en el sedimento son: la difusión y la reducción bacterial, la cual depende de la disponibilidad de materia orgánica oxidable.

Con lo anterior, la Ecuación Diagenética General para sulfato es:

$$(\delta C/\delta t)_x = Ds (\delta^2 C/\delta x^2) + dC/dt_{bact} - (\delta C/\delta x)_t w$$

El proceso de la descomposición de la materia orgánica en sedimentos anóxicos por bacterias y otros microorganismos es un mecanismo que aún no está bien definido (Lasaga y Holland, 1976). Sin embargo, se sabe que, en general, el número de bacterias decrece rápidamente a medida que aumenta la profundidad, (Kaplan y Rittenberg, 1964). Sorokin, (1962), encontró que al menos en la sulfato-reducción las tasas de descomposición también decaen, ya que se tiene un agotamiento de los compuestos orgánicos metabolizables.

La cinética homogénea nos permite expresar la descomposición de la materia orgánica mediante la siguiente ecuación, (Berner, 1980a):

$$dG/dt = -kG$$

donde:

k = Constante de primer orden.

G = Concentración de carbono orgánico que puede ser descompuesto, es decir, carbono orgánico potencialmente metabolizable.



Desde el punto de vista químico, sabemos que se utilizan dos átomos de carbono orgánico para reducir un átomo de sulfato. En términos matemáticos:

$$dC/dt_{bact} = (1/2) dG/dt$$

Sustituyendo la expresión para dG/dt:

$$dC/dt_{bact} = (1/2) dG/dt = - (1/2) kG$$

El valor -(1/2) representa la razón del número de moles del ion sulfato que son reducidos por cada mol de carbono orgánico oxidado. Esta razón se representa por la letra L.

También es importante considerar un factor F para convertir las unidades de G (mmoles/kg de sedimento seco) a las unidades de C (mmoles/lt de agua intersticial) (Lasaga y Holland, 1976). Para porosidad constante, F es constante. Por lo anterior, la expresión resultante es:

$$dC/dt_{bact} = - LkGF$$

Sustituyendo en la Ecuación Diagenética General y considerando el estado estable se obtiene la siguiente expresión:

Ds 
$$\delta^2 C/\delta x^2 - w \delta C/\delta x - LkGF = 0$$

Resolver esta ecuación diferencial implica que debemos encontrar primero una solución para G.

Sabemos que:

$$dG/dt = -kG$$

Sustituyendo en la Ecuación Diagenética General obtenemos:



$$\delta G/\delta t = -kG - w\delta G/\delta x$$

Suponiendo estado estable:

$$-kG - w\delta G/\delta x = 0$$

Reacomodando términos:

$$\delta G/\delta x + (k/w)G = 0$$

Esta es la forma de una ecuación diferencial donde, para encontrar la solución, es necesario encontrar un factor integrante:

Factor Integrante = 
$$\exp \left[ \int (k/w) dx \right] = \exp[(k/w)x]$$

Multiplicando por el factor integrante los términos de la ecuación diferencial:

$$\exp[(k/w)x] \delta G/\delta x + \exp[(k/w)x] G = \exp[(k/w)x] 0$$

Factorizando como la derivada de un producto:

$$\delta \left\{ \exp[(k/w)x \right] G \right\} / \delta x = 0$$

Integrando ambos miembros:

$$\int \delta \{ \exp[(k/w)x] G \} / \delta x = \int 0 dx$$

$$\exp[(k/w)x] G = Go$$

$$G = Go/(\exp[(k/w)x])$$

PALLA IN IN

Finalmente:

$$G = Go \exp[-(k/w)x]$$

es la solución de la ecuación diagenética para la materia orgánica.

Sustituyendo en la Ecuación Diagenética para sulfato tenemos:

Ds 
$$\delta^2 C/\delta x^2 - w \delta C/\delta x - LkFGo \exp[(-k/w)x] = 0$$

La forma de la ecuación diferencial:

Ds 
$$\delta^2$$
C/ $\delta x^2$  - w  $\delta$ C/ $\delta x$  = LkFGo exp[(-k/w)x]

indica que la solución particular debe ser del tipo:

$$C = a \exp[(-k/w)x]$$

donde a es una constante.

Obtenemos la primera y segunda derivadas de C:

Sustituyendo C' y C" en la ecuación diferencial:

Ds 
$$ak^2/w^2 \exp[(-k/w)x] - wa(-k/w) \exp[(-k/w)x] = LkFGo \exp[(-k/w)x]$$

Simplificando y factorizando:

$$a \exp[(-k/w)x] (Ds k^2/w^2 + k) = LkFGo \exp[(-k/w)x]$$

Despejando a:

$$a = \frac{LkFGo \exp[(-k/w)x]}{\exp[(-k/w)x] (Ds k^2/w^2 + k)}$$

Simplificando:

$$a = \begin{array}{c} \underline{LkFGo} \\ Ds \ k^2/w^2 + k \end{array} = \begin{array}{c} \underline{LkFGo} \\ \underline{Ds \ k^2 + kw^2} \end{array} = \begin{array}{c} \underline{w^2LkFGo} \\ Ds \ k^2 + kw^2 \end{array} = \begin{array}{c} \underline{w^2LFGo} \\ Ds \ k + w^2 \end{array}$$

Con esta expresión tenemos la solución particular para C:

$$C = \frac{w^2 LFGo}{Ds k + w^2} \exp[(-k/w)x]$$

Esta es una solución particular de la ecuación diferencial, ahora necesitamos encontrar la solución de la ecuación homogénea:

Ds 
$$\delta^2 C/\delta x^2 - w \delta C/\delta x = 0$$

Utilizamos la forma general para resolver ecuaciones de segundo grado, donde a=Ds, b=-w y c=0:

$$C = \frac{-(-w) \pm \sqrt{[(-w)^2 - 4D_S(0)]}}{2Ds} = \frac{w \pm \sqrt{w^2}}{2Ds} = \frac{w \pm w}{2Ds}$$

Se tiene:

$$C_c = \frac{w + w}{2Ds} = \frac{2w}{2Ds} = \frac{w}{2Ds}$$
  $C_d = \frac{w - w}{2Ds} = \frac{0}{2Ds} = 0$ 

Por lo que la solución de la ecuación homogénea está dada de la siguiente manera:

$$C = C_3 \exp[(w/Ds)x] + C_4 \exp[(0)x] = C_3 \exp[(w/Ds)x] + C_4$$



Berner (1964a), encontró que haciendo C<sub>3</sub>=0 la solución es adecuada desde el punto de vista físico.

La solución total está dada por la suma de la solución particular y de la homogénea:

$$C = \frac{w^2 LFGo}{Ds k + w^2} exp[(-k/w)x] + C_4$$

C<sub>4</sub> representa a la concentración asintótica, la cual será denotada por C<sub>∞</sub>.

Las ecuaciones diagenéticas para el sulfato y la materia orgánica involucran las siguientes suposiciones (Berner, 1980a):

- La descomposición de la materia orgánica sigue una ecuación cinética de primer orden (modelo uno-G). Esto implica que un rango limitado de compuestos orgánicos (α-materia orgánica) son los que pueden utilizar las bacterias sulfato reductoras y que representan, aproximadamente, un máximo del 4% del carbono orgánico total.
- La reacción química que afecta al sulfato disuelto en el agua intersticial es reducción bacteriana.
- 3. La adsorción de sulfato es mínima.
- 4. La compactación y los gradientes de porosidad pueden ser omitidos.
  - 5. La difusión es controlada solamente por procesos moleculares.
  - 6. Los procesos diagenéticos se encuentran en estado estable.
  - 7. La bioturbación, definida como la mezcla de sedimento por la actividad de los organismos bentónicos y el movimiento por olas y corrientes no es tomada en cuenta, ya que es considerada como un proceso límite fuera de la zona de interés.

Además de las suposiciones anteriores se tienen las siguientes condiciones de frontera (Berner, 1980a):

a) La zona de bioturbación es el límite superior, es decir, x=0.



- b) En éste punto, la concentración inicial de sulfato Co tiene el mismo valor que el de la base de la zona de bioturbación, la cual es similar a la del agua suprayacente.
- c) Go denota la concentración de carbono orgánico metabolizable.
- d) A mayor profundidad puede suceder que: i) La materia orgánica metabolizable disminuya
  y la concentración de sulfato se aproxime a un valor asintótico: x → ∞, G → o y C → ∞,
  ii) La concentración de sulfato disminuya.
- e) La condición de frontera inferior es que C→∞ es la condición asintótica cuando G→0 a una profundidad x=x², donde C=0; x² es controlada por procesos internos de reducción de sulfato.

Pirita. La formación de pirita es una consecuencia de la reducción sulfato bacterial, de tal manera que, la cantidad de pirita puede ser calculada por medio del modelaje diagenético en función del sulfato (Berner, 1980a).

La cantidad total de sulfato reducido SS durante el depósito de una capa desde x=0 hasta una profundidad dada, en el estado estable, está dada por (Berner, 1980a);

$$\Sigma S = \int_0^x \frac{Ds \, \delta^2 C / \delta x^2 - w \, \delta C / \delta x \, dx}{w}$$

La concentración de pirita Cp es igual a ΣS en el caso de que todo el sulfuro formado por la sulfato reducción sea convertido en sulfuro de pirita.

Por otra parte, sabemos que de la primera ecuación diagenética y de la solución para G:

Ds 
$$\delta^2 C/\delta x^2 - w \delta C/\delta x - LkFG = 0$$

Ds 
$$\delta^2 C/\delta x^2 - w \delta C/\delta x = LkFG$$

Ds 
$$\delta^2 C/\delta x^2$$
 - w  $\delta C/\delta x = LkFGo \exp[(-k/w)x]$ 



Sustituyendo e integrando para w constante, llegamos a:

$$\Sigma S = \int_0^x \frac{LkFGo \exp[(-k/w)x] dx}{w} = \frac{LkFGo}{w} \int_0^x \exp[(-k/w)x] dx =$$

$$= \frac{LkFGo}{w} \frac{\exp[(-k/w)x]}{(-k/w)} \Big|_0^x = -LkFGo \exp(-k/w)x \Big|_0^x$$

Evaluando y simplificando:

$$\Sigma S = -LkFGo \exp[(-k/w)x] + LFGo \exp[(-k/w)0 = -LFGo \exp[(-k/w)x] - LFGo$$

Así, obtenemos:

$$\Sigma S = LFGo (1 - \exp[(-k/w)x])$$

La ecuación anterior indica que la concentración de pirita se incrementa con la profundidad de acuerdo al mismo exponencial utilizado para describir el comportamiento del sulfato, lo cual indica que las gráficas para sulfato y pirita contra profundidad son imágenes de espejo una respecto a la otra.

# Otros modelos diagenéticos

Boudreau y Westrich (1984), estudiando la dependencia de la sulfato reducción bacterial en la concentración de sulfato en sedimentos marinos, compararon la adecuación de cuatro modelos diagenéticos:

- 1. Modelo Original de Berner.
- 2. Modelo de Berner Modificado.



- 3. Modelo Monod.
- 4. Modelo Linearizado.

La comparación se realizó bajo las condiciones de estado estable, dimensionalidad uno y porosidad constante.

El modelo original de Berner establece que la tasa de sulfato reducción R(x) es proporcional a la razón de decaimiento de la materia orgánica G:

$$R(x)=-kG$$

La aplicación del modelo es adecuada en el caso donde la materia orgánica desaparece antes de que todo el sulfato sea reducido. Sin embargo, el modelo presenta complicaciones en el caso donde el sulfato desaparece en primer término (predice valores negativos para las concentraciones de sulfato).

Para resolver esta complicación, Lasaga y Holland (1976) modifican el modelo mediante la inclusión de un nuevo parámetro "Y", el cual toma el valor de 1 cuando la concentración de sulfato es positiva y cero cuando es negativa. Sin embargo, la adición de "Y" no es suficiente, ya que la solución es válida sólo para modelos semi-infinitos y no tiene un comportamiento adecuado cuando la concentración de sulfato S tiende a cero.

El modelo modificado de Berner es identico al modelo original en las ecuaciones de conservación, pero tiene diferentes condiciones de frontera para evitar los valores negativos, las cuales conducen a un balance exacto de los flujos en la profundidad donde S=0 y dS/dx=0 (Boudreau y Westrich, 1984).

En la búsqueda de un mejor modelo se encontró que la ecuación matemática a utilizar requiere de que la tasa de sulfato reducción R se aproxime a cero cuando la concentración S tiende a cero, que sea asintótica a un valor constante Rm cuando S sea grande y que no tenga valores extremos intermedios.



La ecuación que mejor se ajusta a estos requerimientos es la presentada por Monod (1949):

$$R = RmS/(Ks+S)$$

donde:

R = tasa de sulfato reducción (mM/año).

S = concentración de sulfato (mM).

Rm = tasa máxima.

Ks = concentración en la cual R=Rm/2.

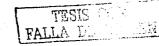
La ecuación de Monod es completamente empírica, lo cual trae como consecuencia que no provee un ajuste intrínsecamente mejor que otras posibles ecuaciones (Boyle y Berthouex, 1974).

Los parámetros de la ecuación de Monod pueden ser calculados graficando 1/R contra 1/S. La gráfica resultante es llamada diagrama Lineweaver-Burk (Fenchel y Blackburn, 1979). Los puntos graficados son ajustados mediante una línea recta, de tal manera que la intersección con el eje Y es el valor 1/Rm y la pendiente es igual a Ks/Rm.

A pesar de éste y otros problemas, la ecuación de Monod proporciona una mejor descripción hasta el momento (Gardner y Lerche, 1987).

Por otra parte, es posible transformar linealmente las ecuaciones diagenéticas del modelo de Monod (Boudreau y Westrich, 1984) mediante una aproximación de la tasa cinética de la ecuación de Monod.

El modelo linearizado supone que arriba de un valor Ks de la concentración de sulfato la tasa de reducción es determinada completamente por el decaimiento de la materia orgánica, igual que en el modelo original de Berner, y que para profundidades abajo de este punto la tasa de reducción es únicamente proporcional a la cantidad de sulfato presente.



Dabes *et al.* (1963), encontraron que ésta manera de establecer el modelo linearizado es igualmente efectiva que la establecida por el modelo Monod.

Antes de la comparación entre los modelos, se transformaron las ecuaciones de cada uno utilizando las siguientes expresiones:

 $x = (k/Ds)^{1/2}(x-L_B)$  profundidad

q = S/S(L<sub>B</sub>) concentración de sulfato

T = FG/S(L<sub>B</sub>) concentración de la materia orgánica

donde:

L<sub>B</sub>= profundidad de la base de la capa de bioturbación

S(L<sub>B</sub>) = concentración de sulfato en L<sub>B</sub>

 $G = G(L_B)$  = concentración de materia orgánica en  $L_B$ 

El resultado del procedimiento anterior permite expresar los modelos en los mismos términos y poder realizar una comparación más efectiva.

Para los dos primeros modelos, se tiene que la concentración de sulfato es una función de:

$$q = f_1(T(0), a, x)$$

donde:

$$a = (Dsk)^{1/2}/w$$

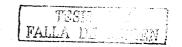
y T(0) es el valor de T en x=LB.

Para los dos últimos modelos, se tiene que:

$$q = f_2(T(0), a, k, x)$$

donde:

$$k = Ks/S(L_B)$$



La comparación se lleva a cabo gráficamente, se tiene en el eje de las X a la concentración y en el eje de las Y a la profundidad.

Diferentes valores de a, k, T(0) representan diferentes ambientes sedimentarios. Valores grandes de a indican que el sistema es altamente reactivo y la difusión es dominante, mientras que valores pequeños pueden interpretarse como ambientes donde la advección domina el transporte del soluto.

Se compararon los cuatro modelos con varias combinaciones de los parámetros anteriores y algunas de las conclusiones obtenidas por Boudreau y Westrich (1984) son las siguientes:

- a. El modelo más fácil de utilizar por tener el menor número de parámetros desconocidos es el Modelo Modificado de Berner.
- El Modelo Modificado de Berner y el Modelo Linearizado presentaron comportamientos muy similares.
- c. Para una profundidad dada, el Modelo Monod predice valores más altos en la concentración de sulfato que los otros modelos.
- d. El modelo original de Berner se aproxima a los modelos sulfato dependientes cuando a toma valores extremos, muy grandes o muy pequeños.
- e. El intervalo de disparidad entre los modelos es dependiente de T(0), es decir de la concentración de materia orgánica metabolizable.

Existen muchos puntos importantes en la modelación de procesos naturales (biológicos, químicos, fisicos, etc.). El conocimiento de los factores involucrados en el proceso y de la manera en que se relacionan, lleva a establecer las ecuaciones matemáticas más adecuadas. La exactitud en la toma de datos es otro factor importante, ya que la calidad de las mediciones disminuye el error en la estimación de los parámetros de los modelos. En algunos casos, no es posible encontrar directamente la solución de las ecuaciones, por lo que es necesario utilizar métodos numéricos (Boudreau y Westrich, 1984).

# AREA DE ESTUDIOALLA IMA ALEN

El Estado de Sonora cuenta con 1,207.81 km de litoral (INEGI, 1991) en el que se encuentran 77 lagunas costeras, representadas en 14 sistemas lagunares que conforman una unidad făcilmente identificable. Las lagunas costeras son usualmente diferenciadas de los estuarios en una base geomorfológica; un estuario es comúnmente considerado como la boca de un río, mientras que una laguna costera es una masa de agua separada del océano por una barrera de islas. Pritchard (1967) especifica más la definición de estuario y lo describe como "un pedazo costero de agua semicerrado, el cual tiene una libre conexión con el mar abierto y dentro del cual, el agua de mar es apreciablemente diluida con agua dulce derivada del drenaje terrestre". Lankford (1977) definió una laguna costera como "una zona costera de baja depresión, teniendo comunicación permanente o efimera con el mar, pero protegida de éste por algún tipo de barrera. Las lagunas son ecosistemas costeros que varían en su extensión, desde cientos hasta miles de hectáreas. Tradicionalmente han sido lugares de pesca intensiva aunque artesanal; medio de vida de miles de pescadores; proveen las principales especies de mariscos que se consumen en la república mexicana (ostión, camarón, mojarra, jaiba, róbalo, almeja, langostino, entre otros).

Los ecosistemas marinos que comprenden el área de estudio, se encuentran ubicados en la Provincia Fisiográfica de la Zona Desértica de Sonora (Álvarez, Jr., 1969) y corresponden según Lankford (1977) a lagunas de sedimentación terrigena diferencial, las cuales están asociadas con sistemas deltaicos fluviales producidas por la existencia de una sedimentación irregular. Fueron seleccionadas por encontrarse geográficamente contiguas, y además por presentar características fisiográficas muy particulares, (Fig. 8). Se localizan entre las coordenadas 27°55′, 27°16′ de latitud norte y 110°40′, 110°27′ de longitud oeste.

Se les puede considerar como ambientes altamente inestables, debido a que existe una intensa actividad hidrodinámica ocasionada por la influencia del océano y la intervención temporal de aportes de origen fluvial, por lo que se encuentran sujetos a procesos de erosión y sedimentación.



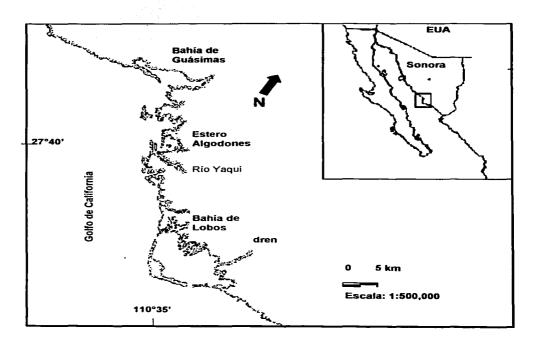


Fig. 8. Lagunas costeras del estado de Sonora que comprende el área de estudio.



## Laguna costera Lobos

### Localización

El mayor de los ecosistemas estudiados es la laguna costera conocida como Bahía de Lobos. Se encuentra situado en la costa sur del estado de Sonora, México; entre las coordenadas 27°18' y 27°21' de latitud norte y 110°26'30" y 110°36' de longitud oeste. Dentro de esta laguna se encuentra incluida la bahía Piedras y Punta Aguja al oeste. Esta laguna comprende 19 elementos que son los esteros: el Riel, el Mapache, la Culebra, las Piedritas, las Arenitas, el Lobito, San Francisquito, la Canasta, el Coloradito, el Escondido, el Mezquite, el Guaicari, la Pitahayita, el Bosque y Tosalcahui.

#### Extensión.

Esta laguna costera posee una profundidad promedio de 1.6 m y una superficie aproximada de 13,682 ha; presenta dos bocas, la norte de 2.4 km y la sur de 800 m de amplitud, separadas por una barra de arena en forma de "L" con un extremo largo denominada Isla Lobos, de aproximadamente 11.5 km, orientada en dirección norte y un extremo corto de 8 km de longitud con una dirección SSE (Fig. 9).

#### Origen

Con base en su clasificación de las lagunas costeras mexicanas hecha por Lankford (1977), Bahía de Lobos pertenece al Tipo II-A, ya que es una laguna de sedimentación terrígena diferencial que se presenta en un sistema deltaico producido por sedimentación irregular (Delta del Río Yaqui); adicionalmente, es una depresión intradeltaica y marginal por presentar una típica barra de arena llamada Isla Lobos. Carranza-Edwards et al. (1975) lo colocan en la Unidad VII.

#### Clima

Presenta un clima de tipo BW (h') hw (e) (García, 1973) y se encuentra en la región hidrológica 9. Este gran cuerpo de agua es receptor de las aguas residuales del Canal Colector Principal Número Dos del Valle del Yaqui, el cual aporta gran cantidad de sólidos en suspensión durante todo el año.



### Granulometría

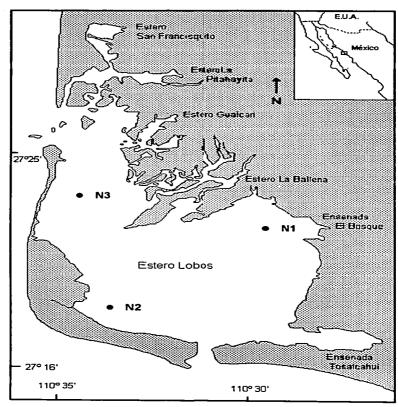
Según Villalba et al. (1989), en los sedimentos superficiales de este sistema lagunar se han identificado seis grupos texturales que son controlados directamente por las principales fuentes de aporte y energía (Fig. 12). Los grupos I y II se localizan generalmente en las bocas: son sedimentos representados por el máximo diámetro medio controlado y se ubican respectivamente en la caracterización de arena y arena limosa. Los grupos III y IV, son sedimentos areno-lodosos y lodo respectivamente, de mal a muy mal clasificados y asimétricos positivamente. De acuerdo a Vásquez (1987) la caracterización del sedimento en la columna sedimentaria de esta laguna costera se muestra en la Tabla 46 del anexo.

## Vegetación

Se han identificado seis hábitats: (1) Zona Pelágica, el cuerpo de la laguna tiene 7,260 has de superficie y 2 m de profundidad promedio, la naturalidad del hábitat es afectada por descarga de aguas residuales agrícolas y urbanas sin tratamiento previo. (2) Zona Sublitoral; la contaminación por acumulación de agroquímicos en sedimento representa una amenaza de deterioro. (3) Área de las Bocas, existen dos bocas permanentes, Boca Norte de 2.4 km de amplitud con dos canales del 4 m y 11 m de profundidad, y Boca Sur de 0.8 km de amplitud con (4) Sistema de Manglar, conformado por Rizophora mangle, Avicennia germinans y Laguncularia racemosa, cubre una superficie aproximada de 3,000 has; En general se encuentra bien conservado. (5) Zona Intermarcal, representa una superficie de 6,000 has; esta alterada en el área donde desembocan aguas residuales agrícolas y urbanas. (6) Dunas Costeras, existen 28 km de dunas activas y estables; tienen mínima perturbación humana. Los hábitats pueden agruparse en dos zonas de manejo, los tres primeros en una zona de uso extensivo y los tres últimos en una zona primitiva (Arreola, 1994).

## Contaminación

La laguna de Lobos presenta la mayor riqueza pesquera de las tres lagunas costeras referidas en este estudio, con 49 especies de peces, 96 de poliquetos y 86 de otros invertebrados (Calderón L. y Campoy J. 1993), a pesar de estar sometida a una intensa explotación pesquera y recibir una considerable cantidad de desechos agroindustriales y domésticos.



Núcleos de sedimento.

Fig. 9. Localización de los puntos de muestreo en la laguna costera Lobos.



## Laguna costera Algodones

#### Localización

La laguna costera Algodones, se encuentra situado en la parte sur del estado de Sonora, México; entre las coordenadas 27°43' y 27°45'30" de latitud norte y 110°35' y 110°37' de longitud oeste.

## Extensión

Su área total aproximada es de 1,084 Ha, (Fig. 10). Sus aguas se encuentran separadas por una gran barra de arena de 4 km de extensión aproximadamente, la cual se prolonga hacia el Sur hasta donde se encuentra la boca de la laguna, por donde fluye el agua de mar y donde existe una zona de mezcla en composición química con el agua dulce que aporta el Río Yaqui.

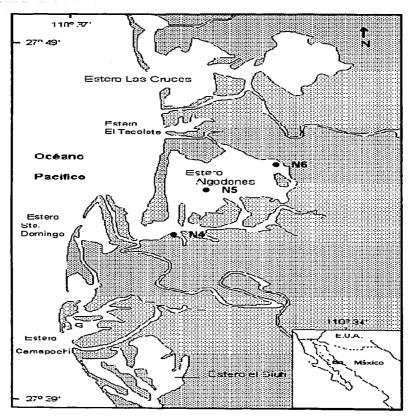
## Origen

Tipo II. Sedimentación terrígena diferencial. Es una laguna costera asociada con sistemas deltaicos fluviales producidos por sedimentación irregular o subsidencias de superficie que causa la compactación de los efectos de carga. Se formaron y varios se han modificado durante los últimos 5 mil años; algunos otros son muy jóvenes geológicamente (cientos de años). Se forman rápidamente barreras arenosas, que envuelven depresiones marginales o intradeltaicas muy someras; deltas de insumo de sedimentos bajos que pueden ser someros y frecuentemente efimeras, lagunas elongadas entre montículos de playa. Presenta típicas barreras arenosas; el escurrimiento puede ser directo o el agua del río puede entrar a las lagunas a través de ensenadas; ocurren rápidamente modificaciones en la forma y batimetría; la energía es usualmente baja, excepto en los canales y ensenadas; hay salinidad típicamente baja, pero puede mostrar estacionalidad y variaciones cortas en tiempo (Lankford, 1977). Carranza-Edwards et al. (1975) la incluyen en la Unidad VII.

#### Clima

Presenta un clima de tipo BW (h') hw (e) (García, 1973), y se encuentra en la región hidrológica 9.





Núcleos de sedimento.

Fig. 10. Localización de los puntos de muestreo en la laguna costera Algodones.



#### Granulometria

Según-Villalba et al. (1989) en esta laguna costera se presentan grupos texturales que son directamente controlados por las principales fuentes de aporte y energía (Fig. 12). Existen dos grupos, que se localizan generalmente en las bocas, con sedimentos representados por el máximo diámetro medio encontrado y se ubican respectivamente en la caracterización de arena y arena limosa. Otro grupo textural se ubica en la parte interna de este sistema costero y se coloca en la caracterización de limo-arenosos el cual registra el mínimo diámetro medio y varía de mal a muy mal clasificados. De acuerdo a Vásquez (1987), la caracterización del sedimento en la columna sedimentaria de esta laguna costera se muestra en la Tabla 47 del anexo.

## Vegetación

El sistema en cuestión se haya bordeado en su mayoría por un Sistema de Manglar, conformado principalmente por Rizophora mangle, Avicennia germinans y Laguncularia racemosa.

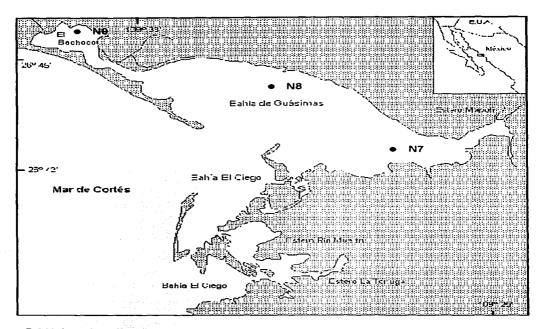
# Laguna costera Guásimas

#### Localización

La laguna costera Guásimas, se encuentra situado en la costa Sur del Estado de Sonora, México; entre los paralelos 27°54' y 27°59' de latitud norte y los meridianos 110°48' y 110°55' de longitud oeste.

#### Extensión

Su área total aproximada es de 4,076 Ha. Fisiográficamente está integrada por una barra de arena de 7 km de longitud aproximadamente. La punta y la porción emergida de dicha barra forman lo que es la boca de la laguna, la cual posee una extensión aproximada de 2.5 km y una profundidad media de 3 m (Fig.11).



Núcleos de sedimento.

Fig. 11. Localización de los puntos de muestreo en la laguna costera Guásimas.



## Origen

Lankford (1977), la clasifica como de los tipos I-E y III-B; Tipo I. Erosión diferencial. Depresiones formadas por procesos no marinos durante el descenso del nivel del mar, inundadas por la transgresión del Holoceno. Modificadas leve o fuertemente a partir de la estabilización del nivel del mar durante los últimos 5 mil años. La batimetría y la forma son variables; la geomorfología es típicamente de un valle de río inundado; se presentan principalmente a lo largo de planicies costeras anchas y de bajo relieve; Los cañones escarpados y rocosos se forman en relieves costeros altos; hay depresiones cársticas ovales e irregulares a lo largo de la costa del Caribe. E. Cañón rocoso inundado. Generalmente sin barrera física, pueden presentar islas rocosas o lenguas de tierra; escurrimientos ausentes o estacionales; forma y batimetría usualmente poco modificada, llegan a producirse pequeños deltas de granos cuárcicos y pequeñas playas; energía variable dependiente de la geometría y refracción de las olas; salinidad típicamente normal; gradientes hipo o hipersalinos y III-B. Tipo III. Plataforma de barrera interna. Depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del mar actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación son paralelos a la costa. Batimétricamente son tipicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena. Laguna costera típica para muchos autores, aparece a lo largo de planicies costeras de bajo relieve con energía de intermedia a alta. B. Lagunas Cuspadas. Barreras arenosas de orientación triangular, con ejes orientados hacia afuera de la playa con relación a la difracción del oleaje (islas, arrecifes, bancos) o promontorios rocosos; escurrimientos ausentes o muy localizados; forma y batimetría modificadas como el caso anterior (III-A); energía típicamente baja, excepto en los canales de marea y durante condiciones de tormenta; salinidad variable que depende de las zonas climáticas (Lankford, 1977). Carranza-Edwards et al. 1975, la ubican en la Unidad VII.

## Clima

Su clima es de tipo BW (h') hw (e) (García, 1973) y se encuentra en la región hidrológica 9.



#### Granulometría

Esta laguna costera no recibe aportes de agua dulce, únicamente de escurrimientos continentales durante la época de lluvias. Su sustrato predominante es arcilloso-limoso en la parte interna y se coloca en la caracterización de limo-arenosos, los cuales registran el mínimo diámetro medio y varían de mal a muy mal clasificados (Fig. 12). En la región cercana a la boca de la laguna posee sedimentos de arena y arena limosa (Villalba, *et al.* 1989). De acuerdo a Vásquez (1987), la caracterización del sedimento en la columna sedimentaria de esta laguna costera se muestra en la Tabla 48 del anexo.

En la Tabla 2, se muestra un resumen de las características más relevantes de cada sistema lagunar.

Tabla 2. Características generales de cada laguna costera objeto de estudio.

Laguna Extensión costera (Ha)	Profundidad media (m)	Cuenca de drenaje	Aporte de agua dulce	
Lobos 13,682	1.6	máximo	reducido	
Algodones 1,084	0.5	minimo	aporte mayor	
Guásimas 4,076	3.0	intermedio	escaso	

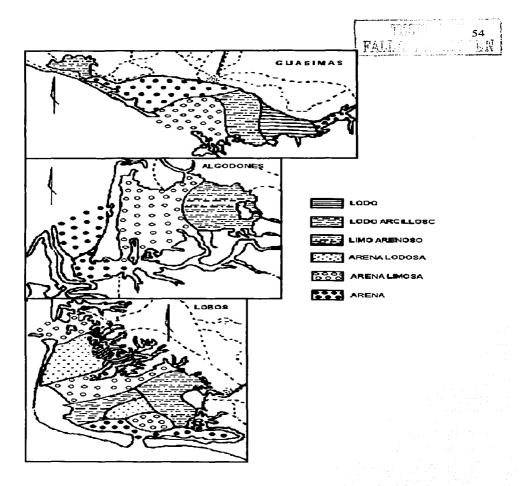


Fig. 12. Distribución de los principales grupos texturales existentes en los sedimentos superficiales de las lagunas, (Villalba, *et al.*, 1989).

# **METODOLOGIA**



#### Muestreos

Se realizaron 9 muestreos en las tres lagunas costeras, correspondiendo tres muestreos para cada laguna, en donde se obtuvieron 9 núcleos de sedimento de los sitios que aparecen en las Figs. 9, 10 y 11. El primer muestreo se realizó de Septiembre a Octubre de 1985, de Febrero a Marzo de 1986 el segundo y el tercero de Junio a Julio de 1986.

La obtención y manejo de los núcleos se siguió de acuerdo a Ortega-Romero (1983), así como también el procesamiento de las muestras de sedimento, desde su obtención hasta su análisis, (Fig. 13).

En cada una de las estaciones, se recolectaron núcleos de sedimento por medio de buceo. Las dimensiones de todos los núcleos tomados fueron de 10 cm de diámetro pero de diferentes longitudes, siendo de 40 cm el menor y de 74 cm el mayor. Las longitudes de los núcleos dependieron del tipo de sustrato prevaleciente en el punto de muestreo.

Una vez realizado el muestreo, los núcleos fueron envueltos en bolsas de polietileno y se conservaron a baja temperatura (5°C), procurando minimizar el contacto del núcleo con el aire y la luz durante su manejo y traslado al laboratorio, e inmediatamente los núcleos fueron divididos en secciones transversales de 1 cm a partir de la capa superficial de sedimento.

Los problemas que pueden presentarse y que deben de evitarse para no tener alteraciones en la interpretación de resultados son:

- i) Pérdida de sedimento superficial al obtener la muestra.
- ii) Distorsión de las capas de sedimento en el manejo del núcleo.
- iii) Distorsión al realizar los cortes a la columna de sedimento.

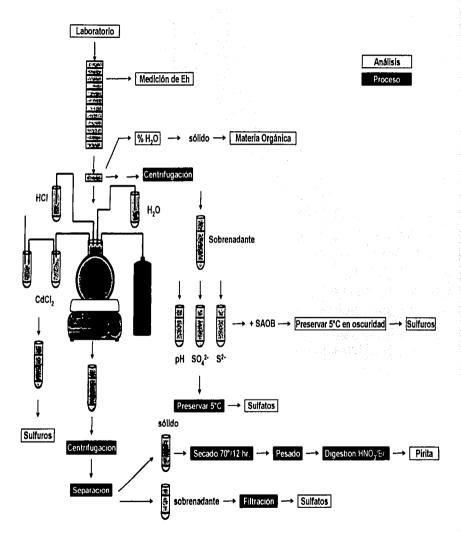


Fig.13. Diagrama de flujo de la fase experimental.

#### Análisis de sedimentos



#### Análisis de sulfuros y sulfatos

El método analítico que se siguió para cuantificar la concentración de sulfuros es el utilizado por Kolthoff y Sandell (1952); Kaplan *et al.* (1963); Berner (1964a); Jørgensen y Fenchel (1974), y con las modificaciones desarrolladas por Ortega-Romero (1983). El método consiste en añadir suficiente HCl 4N a la muestra colocada en un sistema cerrado. La suspención acidificada es calentada y agitada dando lugar a la liberación de sulfuros en forma de H<sub>2</sub>S, el cual es atrapado en columnas de CdCl<sub>2</sub> al 2%, precipitando el azufre como CdS, el cual es analizado por métodos iodométricos, (Orland, 1965, Golterman *et al.*, 1971).

Posterior a la extracción de sulfuros solubles, el sedimento se lavó con HCl 0.5N y fué centrifugado; el sobrenadante se filtró y se determinó la cantidad de sulfatos según metodología de Howarth (1978), la cual consiste en precipitar los sulfatos presentes en forma de BaSO<sub>4</sub> en solución ácida de EDTA y el precipitado es disuelto en un exceso de EDTA a pH alto, el cual es titulado con MgCl<sub>2</sub>.

Para la extracción de sulfuros y análisis de sulfatos, se diseño un sistema de digestión anaeróbico denominado SDA, de acuerdo al diseño y método de Ortega-Romero, 1983, (Fig. 14).

El sistema consta de un vaso de reacción, el cual está conectado a una línea de flujo de N<sub>2</sub> y a dos recipientes que contienen HCl 4N y H<sub>2</sub>O. A su vez el vaso de reacción está acoplado a columnas de CdCl<sub>2</sub> que captan el azufre liberado de la muestra.

Se probó el sistema de digestión anaerobio mediante la realización de análisis de muestras de cantidades conocidas de sulfuro y sulfato. Para estudiar posibles interferencias se investigó la influencia de varias concentraciones de hierro sobre los análisis de compuestos de azufre.

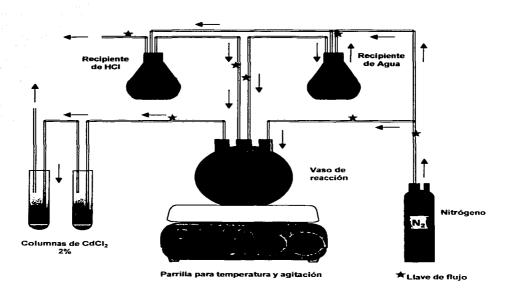


Fig. 14. Sistema de digestión anaerobio (SDA).

## Análisis de pirita

La determinación de pirita en sedimentos se basó en la oxidación del compuesto FeS<sub>2</sub> a sulfato, a través de digestiones de bromo de tetracloruro de carbono, HNO<sub>3</sub> concentrado y HCl, (Kolthoff y Sandell, 1952, Vogel's, 1978, y Ortega-Romero, 1983). Una vez terminadas las digestiones se procede a cuantificar la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> como medida indirecta de la concentración de FeS<sub>2</sub>.

$$2\text{FeS}_2 + 6\text{HNO}_3 + 15\text{Br}_2 + 16\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe(NO}_3)_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 30\text{HBr}$$
  
 $4\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{BaCl}_2 \rightarrow 4\text{BaSO}_4 + 8\text{HCl}$ 

#### Porcentaje de humedad (Por diferencia de peso)

Se pesó una cantidad de sedimento (1.0 g) y se colocó en una estufa a 65° C/12 hrs. La cantidad de agua del sedimento se calculó por diferencia de peso, anterior y posterior al calentamiento de la muestra.

### Determinación de porosidad

La determinación de la porosidad del sedimento se obtuvo mediante la siguiente fórmula, Berner, 1971:

$$\phi = \frac{W ds}{V ds + (1-W) dw}$$

donde:

W = % de agua en peso

ds = densidad promedio de las partículas del sedimento.

dw = densidad promedio del agua intersticial.

# Análisis de carbono orgánico oxidable en sedimentos

La determinación de materia orgánica oxidable se llevó a cabo por oxidación y calentamiento exotérmico utilizando dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado en una muestra de



sedimento. Posteriormente, la muestra es diluida con agua destilada, 10 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 0.2 g de NaF y se tituló con solución Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.5N el exceso de dicromato, utilizando difenilamina como indicador. El % de carbono orgánico se determinó mediante el método de la vía húmeda de Schollenberger (1927). El método utilizado es similar al descrito por Walkley y Black (1934), Jackson (1958), y modificado por Gaudette *et al.* (1974).

#### Potencial redox (Eh)

El potencial redox (Eh) del sedimento fué determinado durante el muestreo colocando el electrodo directamente en cada fracción de 1 cm de sedimento. El potencial redox fué medido con un electrodo de platino-calomel (Radiómetro P1312-K 4112) calibrado usando una solución buffer de cianuro Férrico/Ferroso (+196 mV con respecto al electrodo de calomel estándar a 25°C; precisión ±10 mV).

## Análisis del agua intersticial

#### Sulfato v sulfuro disuelto

Los sulfatos fueron cuantificados a través de una titulación indirecta, aplicando el método de Howarth (1978), que consiste en lo siguiente:

A 1 ml de muestra previamente pesada, se le agregó BaCl<sub>2</sub> al 10% en solución ácida de EDTA precipitando los sulfatos como BaSO<sub>4</sub>. Una vez separado se le añadió al precipitado EDTA 0.01 M y NH<sub>4</sub>OH para disolver el BaSO<sub>4</sub> y tener un pH básico. El exceso de EDTA es titulado como MgCl<sub>2</sub> 0.025 M, usando eriocromo negro-T como indicador.

La concentración de sulfuros en agua, se cuantificó con un electrodo Ag/S<sup>2-</sup> Berner (1963), usando un aparato Orion 701-A digital. Se aplicó la metodología de Midgley y Torrance (1978).



Obtenida la muestra de agua intersticial proveniente del sedimento, se trató con una solución antioxidante (Frant y Ross, 1970), la cual se añadió con la finalidad de disminuir cualquier efecto oxidante sobre los compuestos de azufre que se encuentran en solución.

Se prepararon una serie de soluciones de Na<sub>2</sub>S·9H<sub>2</sub>O, con diferentes concentraciones de ion sulfuro, a los cuales se les determinaron los potenciales (mV) con electrodo de Ag/S<sup>2</sup>- para la elaboración de una curva estándar.

#### pH en agua intersticial

La determinación del potencial de hidrógeno se realizó con un potenciómetro Orion 701a, utilizando un electrodo de vidrio-calomel, después de efectuar una calibración del equipo con una solución buffer conocida.

#### Tratamiento de datos

Los análisis de las mediciones realizadas fueron llevados a cabo mediante la utilización del programa estadístico computacional STATGRAPHICS.

La forma de las ecuaciones que modelan el comportamiento de sulfato y pirita permite utilizar el Análisis de Regresión no lineal para la estimación de los parámetros involucrados. El procedimiento usual consiste en resolver una serie de ecuaciones normales no lineales (Draper y Smith, 1981). Existen diferentes métodos iterativos para encontrar la solución de éstas ecuaciones, los más utilizados son: a) de Linearización, b) del Gradiente y c) de Marquardt. STATGRAPHICS utiliza el método de Marquardt, el cual consiste en un algoritmo para determinar las estimaciones que minimizan la suma de cuadrados residuales.

Todos los modelos matemáticos implican una serie de supuestos, los cuales son necesarios para la obtención de resultados confiables. El modelo de Regresión No Lineal requiere la verificación de cuatro supuestos básicos (Bowker y Lieberman, 1981):

- 1. El modelo utilizado es el adecuado.
- 2. Los residuales siguen una Distribución Normal.
- 3. La varianza de los residuales es constante.
- 4. Los residuales son independientes.

donde residual o error se define como la diferencia entre los valores observados y los estimados por el modelo.

# RESULTADOS Y DISCUSION

FALL

# pH, porcentaje de humedad, porcentaje de carbono orgánico oxidable y porosidad

En las Tablas 3, 4 y 5 se muestran los valores de los parámetros de pH, % de humedad, % de carbono orgánico oxidable y porosidad para los nueve núcleos de sedimento obtenidos. Se puede observar que el contenido de agua varía entre el 50% y el 76%, desde la parte superficial del núcleo hasta la máxima profundidad. Las diferencias observadas en el porcentaje de agua se deben principalmente a la profundidad del núcleo, a su grado de compactación y al tamaño de partícula.

El comportamiento del pH en la laguna costera Lobos, fué con decrecimientos ligeros y tendencias negativas hacia pH ácido, a medida que aumenta la profundidad de los núcleos. En las Tablas 3A, 3B y 3C y Fig. 15A se pueden apreciar los comportamientos y valores de pH de los tres núcleos de Lobos.

En la Fig. 16A, correspondiente a los tres núcleos de la laguna costera Lobos, se puede apreciar claramente la tendencia en la disminución del porcentaje de agua a través de la columna sedimentaria, existiendo gran similitud entre el núcleo 1 y 2 en comparación del núcleo 3, en donde se observaron gradientes del porcentaje de agua (5%) a una profundidad de 50 a 55 cm, como ejemplo. También se pueden observar cambios sustanciales en el porcentaje de agua entre las profundidades de 38 y 58 cm.

En la Fig. 17A se observa el comportamiento de la distribución del carbono orgánico oxidable en los tres núcleos de Lobos, se aprecia un decrecimiento homogéneo en los núcleos 1 y 2 a través de la columna sedimentaria, a diferencia del núcleo 3 en donde las concentraciones de materia orgánica variaron en forma muy significativa de una profundidad a otra: por ejemplo, en el segmento 28-30 cm, 9.10% y en el segmento 30-32 cm, 6.74%. En las Tablas 3A, 3B y



3C se pueden apreciar los valores del porcentaje de carbono orgánico oxidable para las diferentes profundidades en los tres núcleos.

Las diferencias entre una profundidad y otra pueden deberse al tipo de ambiente sedimentario, a las condiciones óxido-reductoras del medio, a la tasa de sedimentación y al aporte relativo de materia orgánica suministrada.

La variación de la porosidad se encuentra entre 0.71 y 0.87, por lo que se podría considerar, desde éste punto de vista, una homogeneidad en la columna sedimentaria, (ver Tablas 3A, 3B y 3C y Fig. 18A).

El comportamiento del pH con respecto a la profundidad de la laguna costera Algodones es similar a los núcleos de la laguna costera Lobos, es decir, muestra tendencia a pH ácidos, como se puede apreciar en la Fig. 15B.

En la Fig. 16B se aprecia la tendencia en la disminución del porcentaje de agua con respecto a la profundidad de los núcleos, observándose un menor contenido de humedad en el núcleo 6, a diferencia de los núcleos 4 y 5. La disminución del contenido de agua en los núcleos estudiados, se debe principalmente al grado de compactación y al tamaño de grano en la medida en que el núcleo se hace más profundo.

De acuerdo a estudios realizados en esta laguna costera por Vásquez et al., (1991) se puede observar (Tabla 47 del apéndice) que en la parte superficial del núcleo se observaron sedimentos limo-arenosos y disminuyendo su tamaño de grano a medida que se tiene mayor profundidad en los núcleos, teniendo a profundidades de 10 a 80 cm sedimentos limo-arcillosos. Esto es, un cambio textural de la fracción de sedimento a través del núcleo.

En el núcleo 5 del presente estudio, se aprecia un cambio significativo en el contenido de humedad entre las profundidades de 54 y 56 cm, con un valor de 72.11%.



En cuanto al carbono orgánico oxidable encontrado en los núcleos de ésta laguna costera, los valores disminuyen con respecto a la profundidad a diferencia del núcleo 6, cuyos valores son menores y se presenta una disminución, (Fig. 17B).

La porosidad de estos tres núcleos decrece con la profundidad, existiendo dos anomalías en el núcleo 5 de esta laguna costera, a las profundidades de 30-35 cm y 15-20 cm, (Fig. 18B).

El pH de los núcleos de la laguna costera de Guásimas se presenta reducida irregularmente pero con tendencia negativa hacia pH ácido, a medida que aumenta la profundidad, siendo el núcleo 8 el que presenta los mayores valores, (Fig. 15C).

En los tres núcleos se detectaron porcentajes de agua con la misma tendencia respecto a la profundidad, como se puede apreciar en la Fig. 16C. Solamente en el núcleo 7 se observa un decremento significativo a los 48-60 cm de 58.71 a 56.31%.

En la Fig. 17C se muestra la distribución del porcentaje de carbono orgánico oxidable para los tres núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas. Como se observa, los valores se presentaron muy heterogéneos para los tres núcleos de sedimento, con tendencia a disminuir con respecto a la profundidad. Cabe señalar que estos porcentajes del carbono orgánico oxidable son menores que los encontrados en las otras dos lagunas costeras. La porosidad disminuye a lo largo de los núcleos, (Fig. 18C).

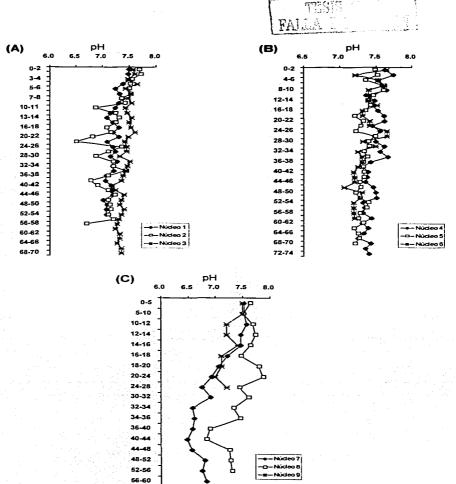


Fig. 15. Comportamiento de la distribución del pH en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



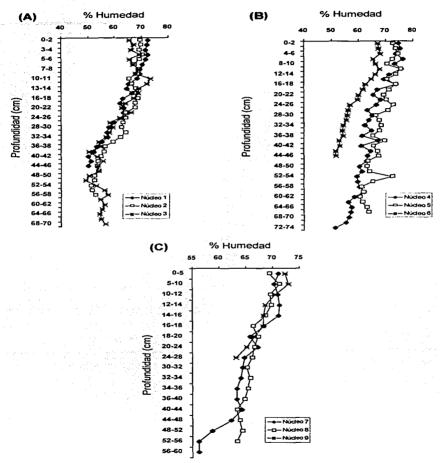


Fig. 16. Comportamiento de la distribución del porcentaje de humedad en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

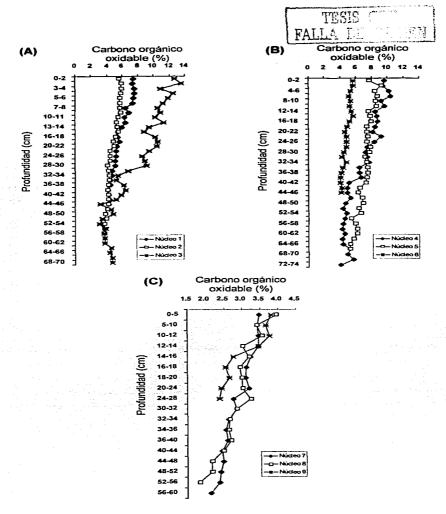


Fig. 17. Comportamiento de la distribución del porcentaje del carbono orgánico oxidable en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

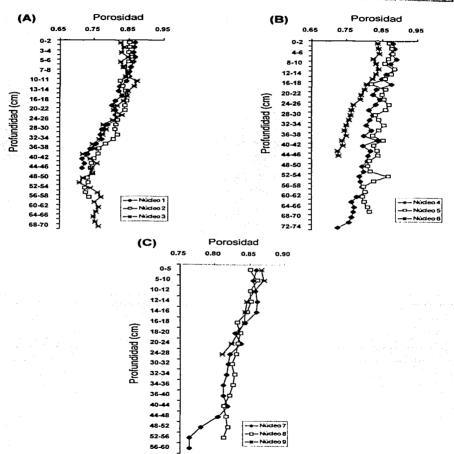


Fig. 18. Comportamiento de la distribución de la porosidad en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

#### Sulfatos



La concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en el agua intersticial se indica en las Tablas 6, 7 y 8 y en las Figs. 19A, 19B y 19C para los nueve núcleos de las tres lagunas costeras. Se observa que las mayores concentraciones de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> se localizan al nivel superficial, teniéndose valores hasta 30.41 mM/l en la región de la interfase sedimento-agua del núcleo 6 de la laguna costera Algodones. Estas concentraciones por arriba de la concentración media del agua marina (aproximadamente 28 mM/l) nos indican una elevada evaporación, ya que esa área es somera y sometida a continuos e intensas tasas de evaporación en el sistema.

Por otra parte, se tuvieron los valores mínimos en el núcleo 4 de la misma laguna, detectándose concentraciones hasta de 2.98 mM/l. Lo anterior se debe a la influencia de agua dulce del río Yaqui y su impacto en los niveles de concentración de iones como SO<sub>4</sub><sup>2</sup> y Cl en esa área lagunar.

Se puede apreciar un comportamiento exponencial de la distribución de  $SO_4^{2-}$  en la columna sedimentaria, existiendo casi siempre mayores concentraciones al nivel de la interfase sedimento/agua. Se observa un alto grado de la actividad óxido-reductora en los núcleos 3 y 4, teniéndose concentraciones del rango de 2.98 mM/l-16:31 mM/l, a diferencia de los núcleos 1, 5 y 6 que fluctúan entre 17:38-25.7 mM/l para el núcleo 1, 6.22-25.31 en el 5 y 17:31-30:41 para el núcleo 6.

En diversos estudios se puede observar que las mediciones en la columna sedimentaria acerca de los cambios en las condiciones óxido-reductoras del medio son cambios ligados a la metabolización de la materia orgánica y a la gran actividad bacteriana en el medio sedimentario, (Krumblein y Garrels, 1952; Batten, 1962; Brafield, 1964; Biggs, 1967; Whitfield, 1969; Hines y Jones, 1985; Crill y Martens, 1987; Henrich y Reeburgh, 1987; Chanton et al., 1987; Fossing, 1990). Otras



investigaciones de la distribución de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en relación a la profundidad del sedimento, han concluido que la concentración decrece a medida que las condiciones reductoras en el sedimento aumentan (Emery y Rittenberg, 1952; Ostroumov y Fomina, 1959; Berner, 1964a; Ferdelman *et al.*, 1991). La disminución en la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en el agua intersticial es variable con respecto a la profundidad y es resultado del balance entre la difusión y el proceso de reducción del sulfato en el sedimento. Podemos interpretar que éste último proceso está vinculado con el tipo y la abundancia de materia orgánica presente en el sistema (Shishkina, 1964; Berner, 1970b, 1972; Emerson y Hedges, 1988; Martens *et al.*, 1992).

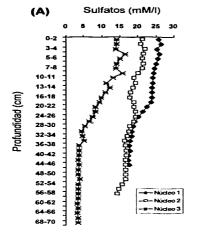
Las concentraciones de  $SO_4^{2^*}$  en base húmeda, (Figs. 20A, 20B y 20C), son muy similares a la concentración de  $SO_4^{2^*}$  en el agua intersticial, en cambio la distribución de  $SO_4^{2^*}$  en base seca, (Figs. 21A, 21B y 21C), en la columna sedimentaria tiene comportamientos muy irregulares, con cambios entre una profundidad y otra.

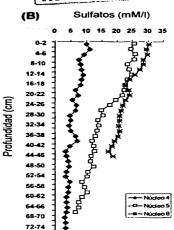
En base húmeda se pueden apreciar algunos gradientes de concentración que tiene que ver con los cambios de los procesos de óxido-reducción (capa discontinua de potencial redox, RDP) debido a las condiciones óxicas y anóxicas de los espacios intersticiales.

#### Sulfuros

La concentración de sulfuros en el agua intersticial varió de 0-11.2 mM/l. En la Fig. 22A, de la laguna costera Lobos se pueden apreciar las variaciones de concentración de sulfuro soluble con relación a la profundidad; para los tres núcleos (1, 2 y 3) se tiene una marcada tendencia hacia el aumento de concentración a medida que aumenta la profundidad (comportamiento exponencial).







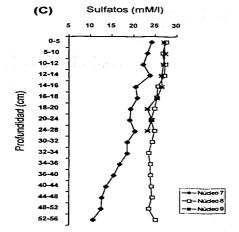


Fig. 19. Comportamiento de la concentración de sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2</sup>) en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



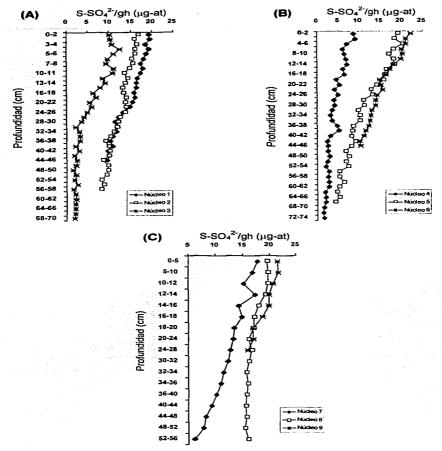


Fig. 20. Comportamiento de la concentración de sulfatos en base húmeda (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/gh), en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



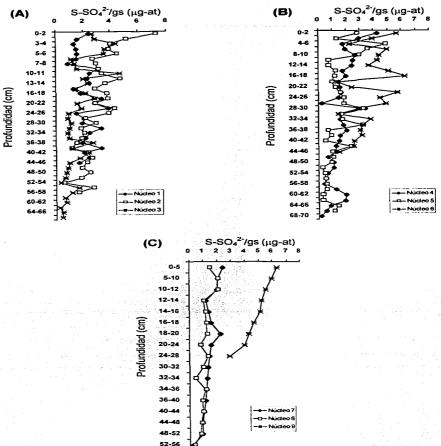
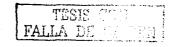


Fig. 21. Comportamiento de la concentración de sulfatos en base seca (SO<sub>4</sub><sup>2</sup>/gs), en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



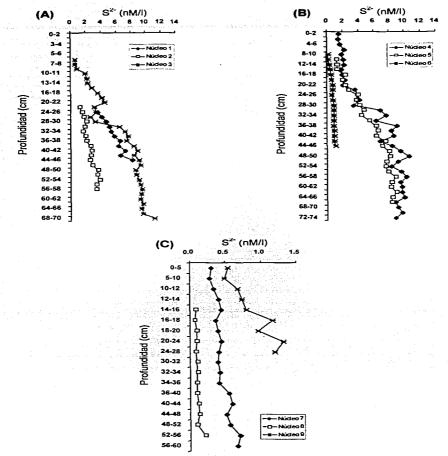


Fig. 22. Comportamiento de la concentración de sulfuros (mM/l), en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



Se pueden apreciar altos niveles de sulfuros en las lagunas costeras, lo cual nos indica la existencia de procesos de óxido-reducción en gran actividad electrónica en el medio sedimentario.

La concentración de sulfuro en base númeda, (Figs. 23A, 23B y 23C) tiene un comportamiento exponencial, de forma similar a la concentración de S<sup>2-</sup> en el agua intersticial. Por otra parte, la distribución de S<sup>2</sup> en base seca (Figs. 24A, 24B y 24C) en la columna sedimentaria, tiene comportamientos muy irregulares. Al igual que en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, se aprecian gradientes de concentración debido a los cambios óxido-reductores del medio sedimentario. En las Tablas 9, 10 y 11 se tienen las concentraciones de S<sup>2-</sup> tanto en el agua intersticial como en su fase húmeda y seca.

La concentración de sulfuros tanto para la laguna costera Algodones como para la de Guásimas tienden a aumentar a medida que aumenta la profundidad, lo cual se puede apreciar en forma muy marcada en los núcleos 4 y 5 de Algodones.

La difusión de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y S<sup>2-</sup> depende de la magnitud de los gradientes de concentración de éstas especies, así como de los coeficientes de difusión iónica y del grado de sedimentación del medio.

La baja concentración de  $SO_4^{2-}$  y  $S^{2-}$  en el sedimento seco, comparada con la del agua intersticial demuestra que el mayor porcentaje de éstas especies químicas de azufre se encuentra en el agua intersticial.

#### Potencial redox

Las mediciones de potencial redox en cada laguna costera a diferentes profundidades se pueden apreciar en las Tablas 12, 13 y 14 para los 9 núcleos.

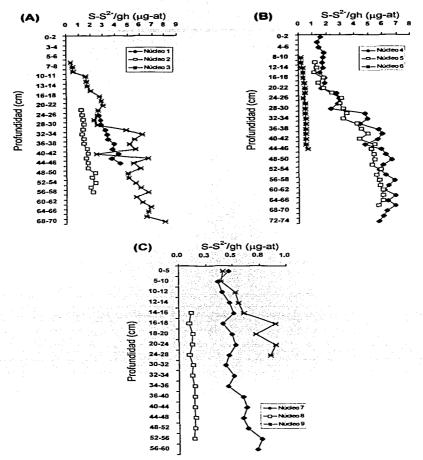


Fig. 23. Comportamiento de la concentración de sulfuros en base húmeda (S²-/gh), en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A). Algodones (B) y Guásimas (C).



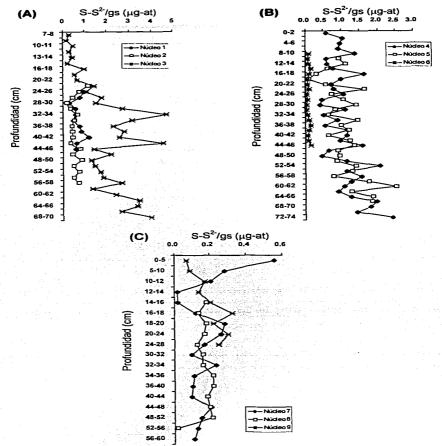


Fig. 24. Comportamiento de la concentración de sulfuros en base seca (S²-/gs), en el agua intersticial de los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



Para la laguna costera Lobos, los potenciales de óxido-reducción estuvieron entre +105 y -465 mV de potencial. En la Tabla 12 se aprecia que a medida que aumenta la profundidad del núcleo el potencial redox aumenta negativamente.

En la laguna costera Algodones el comportamiento para los tres núcleos fué muy similar al de Lobos, es decir un aumento negativo del potencial redox a medida que aumenta la profundidad. En la Tabla 13 se observa dicho comportamiento. El rango del potencial redox de esta laguna es de +110 a -476 mV.

Para los núcleos colectados en la laguna costera Guásimas, la tendencia del potencial de óxido-reducción se puede considerar como semejante a las otras dos lagunas antes mencionadas. En la Tabla 14 se aprecia el comportamiento con respecto a la profundidad, encontrándose con un rango de potencial de óxido-reducción entre -65 a -433 mV.

# Distribución de SO42 y S2-

Berner (1964a), desarrolló una clasificación geoquímica de los sedimentos de acuerdo a los procesos dominantes que influyen en la distribución vertical de sulfuros y sulfatos: a) Sulfato reducción activa, b) Poca o nula sulfato reducción y c) Difusión ausente.

En las Figs. 25, 26 y 27 se pueden apreciar las tendencias del  $SO_4^{2-}$  y  $S^{2-}$  en la columna sedimentaria de los nueve núcleos.

Las gráficas de distribución para sulfatos y sulfuros muestran que geoquímicamente los núcleos 3, 4, y 5 se encuentran bajo procesos de sulfato reducción activa (curvas cóncavas hacia abajo), con valores relativamente altos a bajas profundidades, mientras que el resto de los núcleos presentan una combinación de sulfato reducción activa y difusión ausente (comportamiento casi vertical) para sulfuro, es decir concentraciones que varían muy poco a lo largo del núcleo.



80

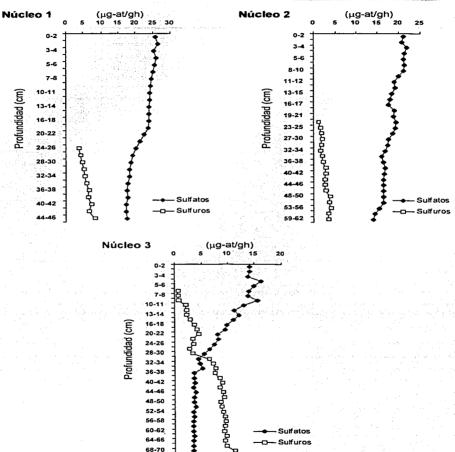


Fig. 25. Distribución de sulfato y sulfuro en los sedimentos de la laguna costera Lobos.



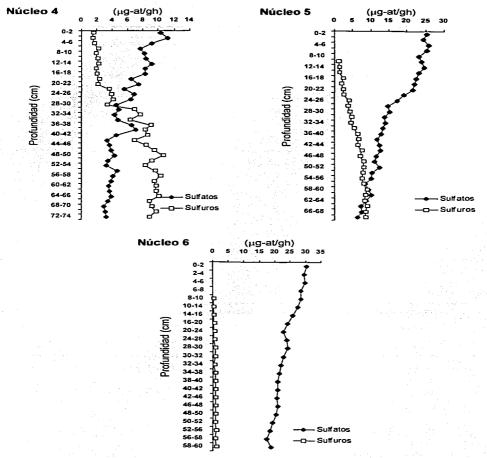
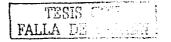


Fig. 26. Distribución de sulfato y sulfuro en los sedimentos de la laguna costera Algodones.



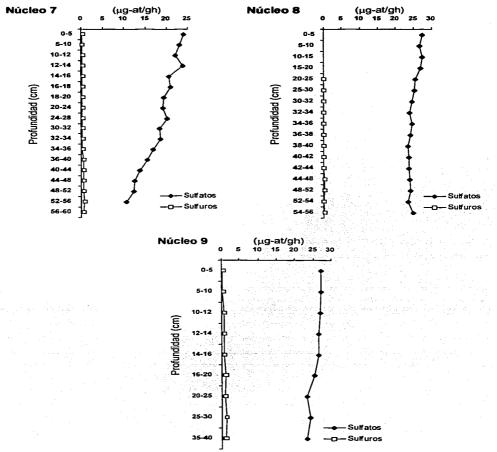


Fig. 27. Distribución de sulfato y sulfuro en los sedimentos de la laguna costera Guásimas.

## Pirita (FeS2) en sedimento



La combinación de pirita (pirita + azufre elemental) en sedimentos se puede apreciar en las Tablas 15, 16 y 17 y en las Figs. 28A, 28B y 28C de los núcleos.

Las concentraciones de pirita se encuentran en el rango de 0.14% (Núcleo 7) a 1.72% (Núcleo 4). En la laguna costera Lobos, las concentraciones del núcleo 3 y 1 tienen similar tendencia, encontrándose mayores concentraciones de FeS<sub>2</sub> en el núcleo 3 (0.73-1.51%), y en el núcleo 1 (0.58-1.15%). En el núcleo 2, se tuvieron concentraciones entre 0.31%-0.69%, (Fig. 28A).

En la región de Algodones, el comportamiento de los núcleos 4 y 5 es muy similar a través de la columna sedimentaria y sus concentraciones de FeS<sub>2</sub> varían en el rango de 0.86%-1.72%, son ambientes reducidos en comparación con el núcleo 6 que es un medio oxidado con concentraciones de pirita entre 0.18%-0.36%, (Fig. 28B).

Por otra parte, con respecto a la laguna costera Guásimas, la distribución de FeS<sub>2</sub> a través de la columna sedimentaria para los 3 núcleos es de comportamiento muy irregular, con variaciones o anomalías en las concentraciones de pirita. Las concentraciones se encuentran en el rango de 0.14%-0.53% para los 3 núcleos de Guásimas, (Fig. 28C).

En las Tablas 15, 16 y 17 y en las Figs. 29A y 30A, 29B y 30B, 29C y 30C, se pueden apreciar las concentraciones de Fe y S de FeS<sub>2</sub> (gs) de las tres lagunas costeras en estudio.

Las concentraciones de Fe para la laguna costera Lobos variaron entre 25.83 μg-at/gs y 125.85 μg-at/gs para los 3 núcleos de la columna sedimentaria. Al igual, la concentración de S se dió entre 51.67 μg-at/gs y 251.71 μg-at/gs. Obviamente, su comportamiento va en forma proporcional con un factor de 2.

Para la laguna costera Algodones, se tuvieron concentraciones de Fe entre 15.00 μg-at/gs y 143.36 μg-at/gs, de donde para S sería 30.00 μg-at/gs y 268.72 μg-at/gs para los 3 núcleos de la columna sedimentaria.



En la laguna costera Guásimas, se tuvieron las más bajas concentraciones de Fe y S de las tres lagunas. El Fe fluctuó entre 11.669 μg-at/gs y 44.175 μg-at/gs para los tres núcleos de la columna sedimentaria, de ahí que la concentración de S varíe entre 23.338 μg-at/gs y 88.350 μg-at/gs.

El comportamiento de Fe y S para las lagunas de Lobos y Algodones siguen una tendencia positiva con la profundidad muy marcada para los núcleos 1, 2, 3, 4, y 5 y con tendencias poco ordenadas en los núcleos de la laguna costera Guásimas.

En las Figs. 31A, 31B y 31C se tienen la distribución de S como FeS<sub>2</sub> en unidades de µg-at/gh para las tres lagunas costeras. Aunque el S se está expresando en base húmeda, su comportamiento para los 9 núcleos es muy similar a base seca. Las concentraciones en base húmeda están en el orden de un 70% menos que en base seca.

# Azufre Total (FeS2, SO42-, S2-) en sedimento

Los valores de azufre total en sedimento se encuentran en las Tablas 18, 19 y 20 y en las Figs. 32A, 32B y 32C para los núcleos de las lagunas costeras en estudio.

Los valores de azufre total fueron estimados en el rango de concentración de 16.68 a 147.17  $\mu$ g-at S²/gh, siendo en el núcleo 4 de la laguna costera Algodones donde las concentraciones de S<sub>total</sub> fueron las más elevadas, estando éstas en el rango de 46.64 a 147.17  $\mu$ g-at S²/gh, (Figs. 32A, 32B y 32C).

Se puede apreciar que un buen porcentaje 40-75% del azufre total, se encuentra en forma de pirita (FeS<sub>2</sub>), este incremento relativo se puede observar en las Figs. 33A, 33B y 33C.

En las Figs. 34, 35 y 36 se tienen las distribuciones de concentración acumulativa de S<sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y FeS<sub>2</sub>+S<sup>o</sup> para las tres lagunas costeras en estudio.



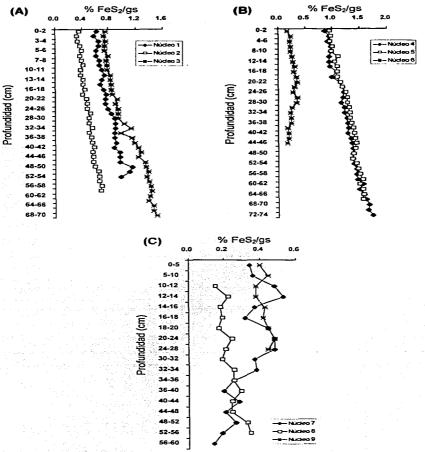


Fig. 28. Comportamiento de la distribución de pirita (FeS<sub>2</sub>), en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

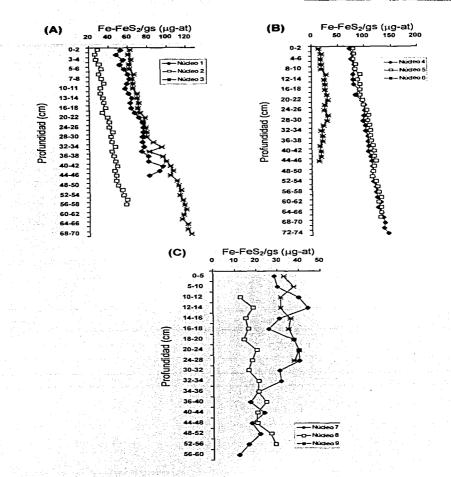
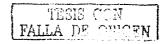


Fig. 29. Comportamiento de la distribución de Fe de la pirita (FeS<sub>2</sub>) en base seca, en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



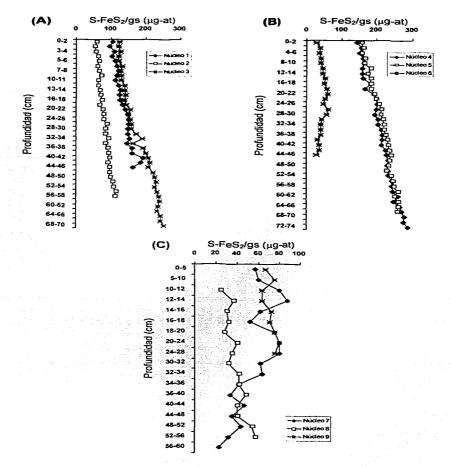


Fig. 30. Comportamiento de la distribución de S de la pirita (FeS<sub>2</sub>) en base seca, en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

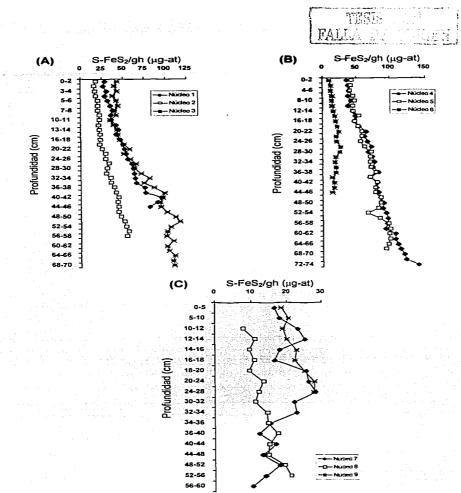


Fig. 31. Comportamiento de la distribución de S como pirita (FeS<sub>2</sub>) en base húmeda, en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



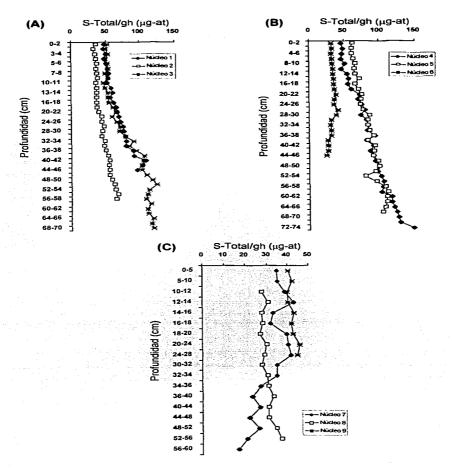


Fig. 32. Comportamiento de la distribución de azufre total, en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

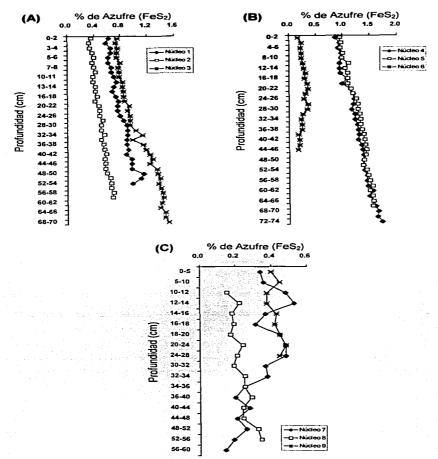


Fig. 33. Comportamiento de la distribución del porcentaje de azufre total en forma de pirita, en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



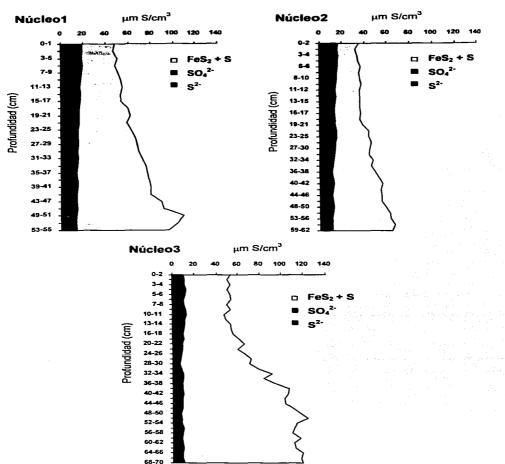


Fig. 34. Comportamiento de la distribución de la concentración de sulfuro, sulfato y pirita total en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.

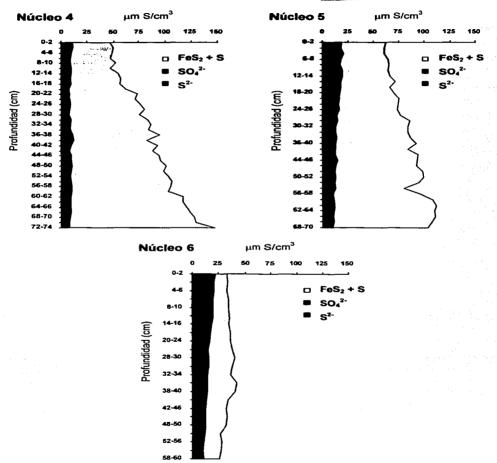


Fig. 35. Comportamiento de la distribución de la concentración de sulfuro, sulfato y pirita total en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

SO<sub>4</sub>2. S<sup>2.</sup>



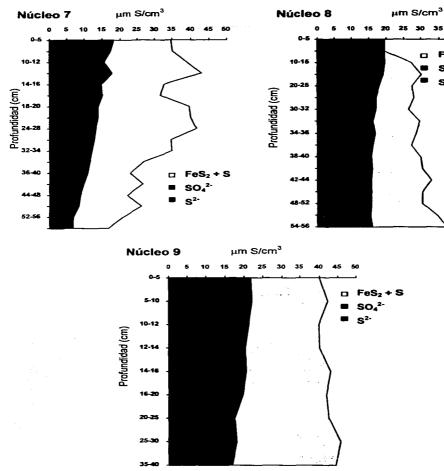


Fig. 36. Comportamiento de la distribución de la concentración de sulfuro, sulfato y pirita total en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.



La variación de sulfuros solubles en el contenido de azufre total del sedimento de un núcleo a otro, fue pequeña comparada a la de los sulfatos.

#### Grado de piritización

Berner, 1970b, definió el grado de piritización (GP) en el medio sedimentario como la relación de Fe a partir de FeS<sub>2</sub> y la suma de Fe en FeS<sub>2</sub> y el Fe soluble en HCl:

El grado de piritización se determinó para los núcleos en las tres lagunas costeras en estudio. En las Tablas 21, 22 y 23 y Fig. 37 se aprecia el comportamiento de éste parámetro. En la laguna costera Lobos, GP estuvo en el rango de 0.10 a 0.28; en Algodones entre 0.10 y 0.35 y en la laguna de Guásimas entre 0.03 y 0.26.

En las Figs. 37A, 37B y 37C se tiene la distribución en la columna sedimentaria, apreciándose una tendencia hacia un incremento del grado de piritización a medida que aumenta la profundidad.

Los valores de GP en el presente estudio, nos muestran que la cantidad de Fe que ha sido transferido a FeS<sub>2</sub> es poco, y por lo tanto el elemento Fe no viene a ser un factor que limite la formación del mineral FeS<sub>2</sub>. De ahí que, se tiene suficiente Fe en el sedimento para elaborar FeS<sub>2</sub>, por lo que reafirma la hipótesis que se contempló en la Laguna del Verde-Camacho (Ortega-Romero, 1983) del origen autigénico de la pirita, que se encontró en valores que oscilaron entre 0.12-0.50 y 0.09-0.27 para dos muestreos efectuados.

Los valores de GP menores que 0.5 nos expresan la presencia de evolución incompleta a FeS<sub>2</sub> del Fe soluble.



La variación de sulfuros solubles en el contenido de azufre total del sedimento de un núcleo a otro, fue pequeña comparada a la de los sulfatos.

#### Grado de piritización

Berner, 1970b, definió el grado de piritización (GP) en el medio sedimentario como la relación de Fe a partir de FeS<sub>2</sub> y la suma de Fe en FeS<sub>2</sub> y el Fe soluble en HCl:

$$GP = \frac{\% \text{ Fe-FeS}_2}{\% \text{ Fe-FeS}_2 + \% \text{ Fe soluble en } \exists \exists}$$

El grado de piritización se determinó para los núcleos en las tres lagunas costeras en estudio. En las Tablas 21, 22 y 23 y Fig. 37 se aprecia el comportamiento de éste parámetro. En la laguna costera Lobos, GP estuvo en el rango de 0.10 a 0.28, en Algodones entre 0.10 y 0.35 y en la laguna de Guásimas entre 0.03 y 0.26.

En las Figs. 37A, 37B y 37C se tiene la distribución en la columna sedimentaria, apreciándose una tendencia hacia un incremento del grado de piritización a medida que aumenta la profundidad.

Los valores de GP en el presente estudio, nos muestran que la cantidad de Fe que ha sido transferido a FeS<sub>2</sub> es poco, y por lo tanto el elemento Fe no viene a ser un factor que limite la formación del mineral FeS<sub>2</sub>. De ahí que, se tiene suficiente Fe en el sedimento para elaborar FeS<sub>2</sub>, por lo que reafirma la hipótesis que se contempló en la Laguna del Verde-Camacho (Ortega-Romero, 1983) del origen autigénico de la pirita, que se encontró en valores que oscilaron entre 0.12-0.50 y 0.09-0.27 para dos muestreos efectuados.

Los valores de GP menores que 0.5 nos expresan la presencia de evolución incompleta a FeS<sub>2</sub> del Fe soluble.

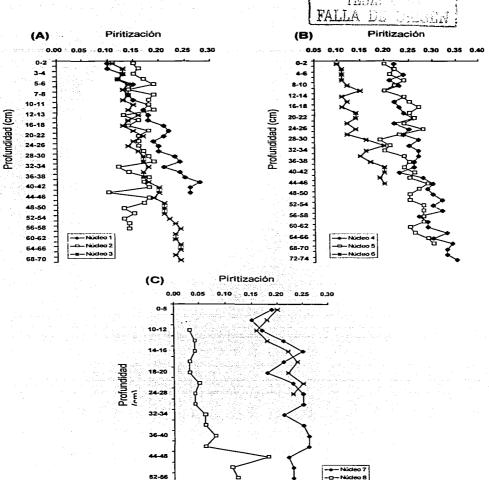


Fig. 37. Comportamiento del grado de piritización en los núcleos de sedimento de las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

æ--- Núcleo 9

FALLY

El Fe como factor limitante fué evaluado por Berner, (1970b) en Long Island Sound y encontró valores que varían entre 0.10 y 0.35 de grado de piritización y al igual que en las tres lagunas costeras del estudio, se encontró que el Fe no era limitante en la formación de FeS<sub>2</sub>.

Debido a que la concentración de materia orgánica metabolizable influye en el proceso de reducción de SO<sub>4</sub><sup>2</sup> en el sedimento también se tiene gran incidencia en el uso de Fe y su transformación a FeS<sub>2</sub>, (Berner, 1970a).

En las Figs. 38, 39 y 40 se presenta la relación entre el grado de piritización y carbono orgánico oxidable para las tres lagunas costeras. Los valores de GP varían de 0.04 a 0.4 en los 3 ecosistemas, existiendo un comportamiento inverso con el carbono orgánico oxidable en 8 de los 9 núcleos (excepto en el núcleo 2).

#### Carbono orgánico oxidable y pirita

En las Figs. 41, 42 y 43 se muestra el comportamiento, con relación a la profundidad, del carbono orgánico oxidable y de la pirita.

Se observó que en casi todos los núcleos el patrón mostrado por el carbono orgánico oxidable es muy similar, porcentajes con tendencia a disminuir a medida que aumenta la profundidad. La pirita tuvo una tendencia a aumentar a medida que la profundidad se hacía mayor, aunque con una variación mayor que el carbono orgánico oxidable.

Las Figuras se realizaron sin la bioturbación, haciendo la transformación de restarle a cada valor de la concentración el observado en el nivel que divide a la zona de bioturbación del resto del sedimento, donde x=0. En las Figs. 44A, 44B y 44C se observa el comportamiento de la relación FeS<sub>2</sub> y carbono orgánico oxidable.

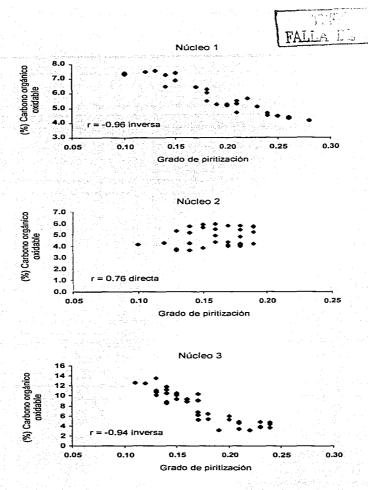
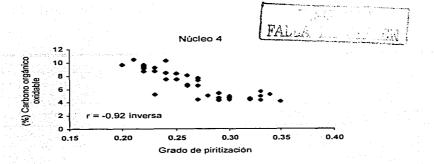
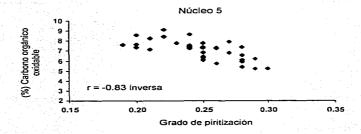


Fig. 38. Comportamiento de la relación entre el grado de piritización y el carbono orgánico oxidable en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.





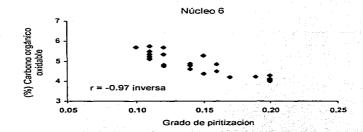
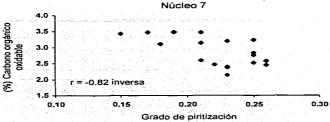
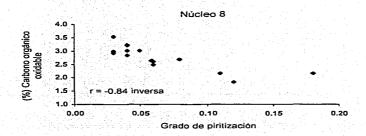


Fig. 39. Comportamiento de la relación entre el grado de piritización y el carbono orgánico oxidable en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.







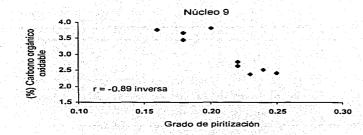
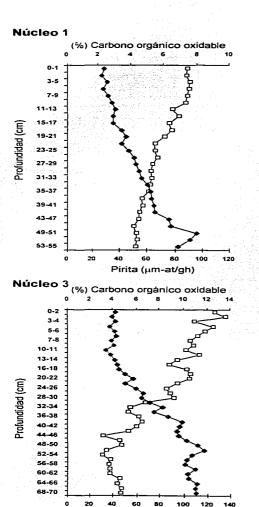


Fig. 40. Comportamiento de la relación entre el grado de piritización y el carbono orgánico oxidable en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.



Pirita (µm-at/gh)

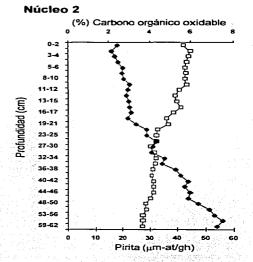


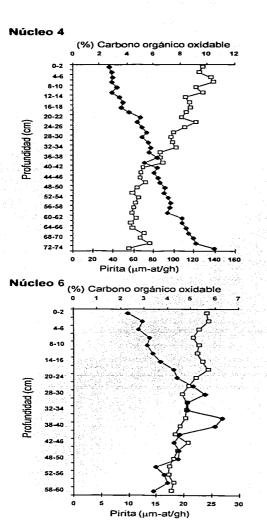
Fig. 41. Distribución del carbono orgánico oxidable y pirita en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.

Carbono

Orgánico

Pirita





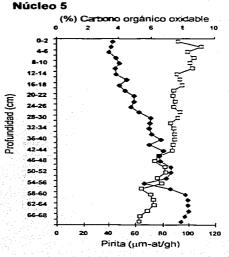
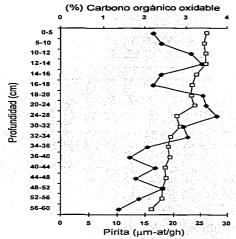




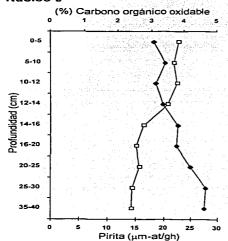
Fig. 42. Discribución del carbono orgánico oxidable y pirita en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

# FALLA

#### Núcleo 7



### Núcleo 9



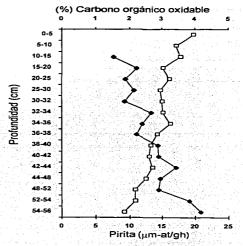




Fig. 43. Distribución del carbono orgánico oxidable y pirita en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.



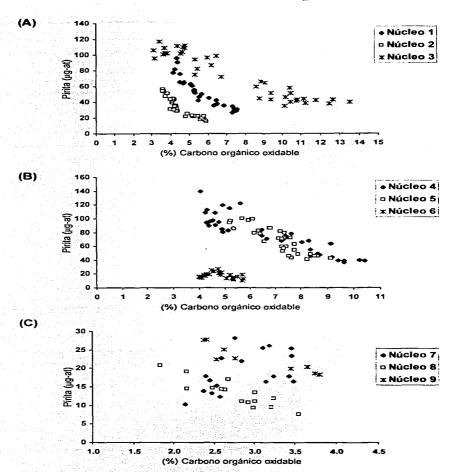


Fig. 44. Comportamiento del carbono orgánico oxidable y pirita en las lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).

# TESIS FALLA III SIN

#### Carbono orgánico oxidable y sulfato

En las Figs. 45, 46 y 47 se muestra el comportamiento de carbono orgánico oxidable y sulfato. El comportamiento del ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en la columna sedimentaria es similar a la tendencia del carbono orgánico oxidable, ya que hay metabolización del carbono orgánico oxidable para la reducción de iones SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en el medio y por consecuencia disminución de la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

#### Redox y pirita

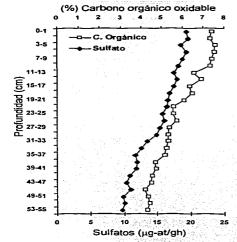
En las Figs. 48, 49 y 50 se muestra el comportamiento del potencial redox y pirita. Se tiene un comportamiento similar al del carbono orgánico oxidable-FeS<sub>2</sub>. El potencial redox tiene una tendencia a disminuir (potencial negativo) y por otra parte a un aumento en la concentración de FeS<sub>2</sub> a medida que aumenta la concentración en el núcleo.

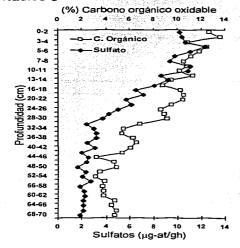
Los cálculos se realizaron sin la bioturbación, haciendo la transformación de restarle a cada valor de la concentración el observado en el nivel que divide a la zona de bioturbación del resto del sedimento. donde x=0.

#### Redox y sulfato

En las Figs. 51, 52 y 53 se muestra el comportamiento del potencial redox y sulfato. Comportamiento similar al desarrollado entre el carbono orgánico oxidable y  $SO_4^{2-}$  en el medio sedimentario. Disminución fuerte en la concentración de  $SO_4^{2-}$ .







Núcleo 2

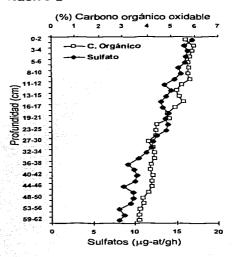
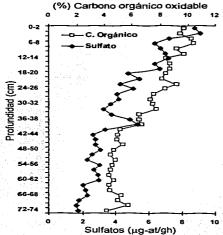


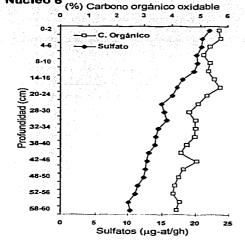
Fig. 45. Distribución del carbono orgánico oxidable y sulfato en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.







## Núcleo 6 ,,,



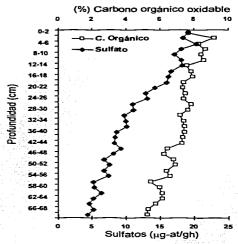


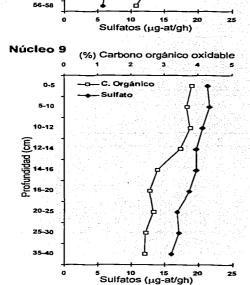
Fig. 46. Distribución del carbono orgánico oxidable y sulfato en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

#### Núcleo 7 (%) Carbono orgánico oxidable 0-5 C. Orgánico 5-10 Sulfato 10-12 12-14 14-16 16-18 E 16-18 20 18-20 20-24 24-28 30-32 32-34 34-36 36-40

40-44

44-48 48-52

52-56



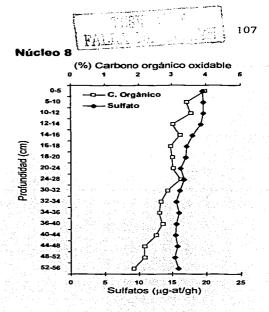
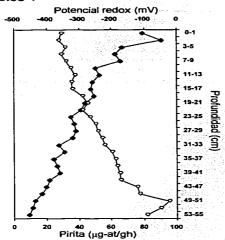
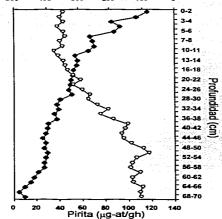


Fig. 47. Distribución del carbono orgánico oxidable y sulfato en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.





# Núcleo 3 Potencial redox (mV) -500 -400 -300 -200 -100



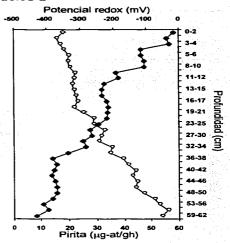
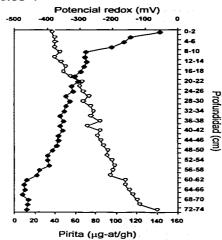


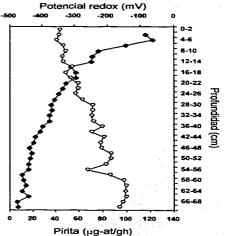


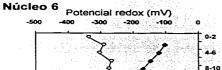
Fig. 48. Distribución del potencial redox y pirita en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.





Núcleo 5





10

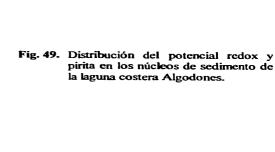
Pirita (µg-at/gh)

14-16 20-24

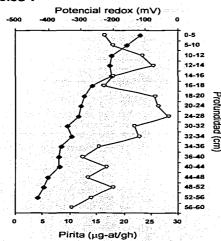
28-30

32-34 38-40 42-46 48-50 52-56 58-60

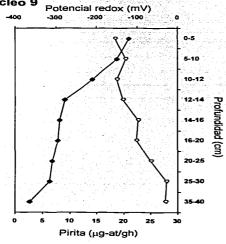
25 30



– Redox – Pirita



### Núcleo 9



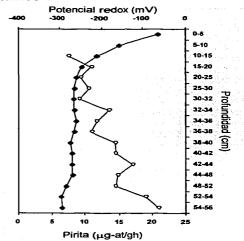
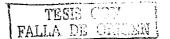
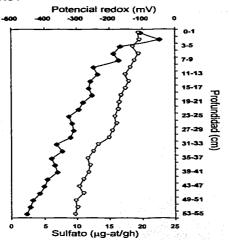


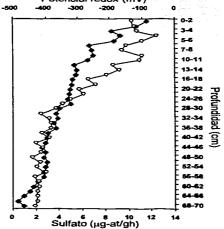


Fig. 50. Distribución del potencial redox y pirita en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.





# Núcleo 3 Potencial redox (mV)



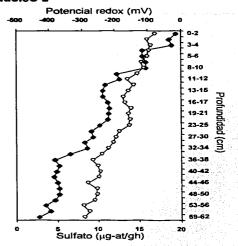
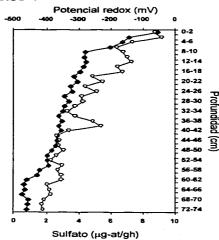


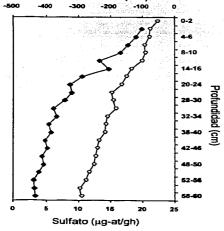


Fig. 51. Distribución del potencial redox y sulfatos en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.





# Núcleo 6 Potencial redox (mV)



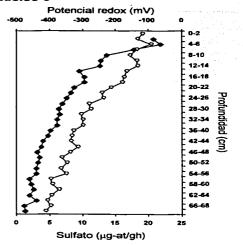
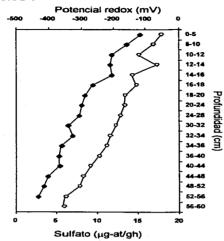


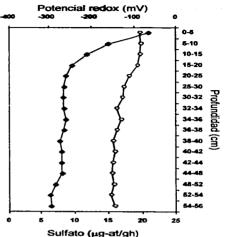


Fig. 52. Distribución del potencial redox y sulfatos en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.





Núcleo 8





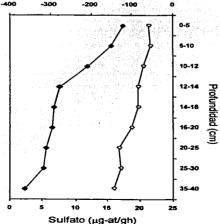




Fig. 53. Distribución del potencial redox y sulfatos en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.

### Cálculo de los parámetros del modelo diagenético para sulfatos.

### Cálculo del coeficiente de difusión (Ds) del ión SO42- en el sedimento

La determinación del Coeficiente de Difusión (Ds) en el sedimento se puede realizar a partir del término de tortuosidad (Θ) y del coeficiente de Difusión de  $SO_4^{2^-}$  en el agua de mar (D), (Berner, 1980a):

$$Ds = D/\Theta^2$$

El cálculo de tortuosidad (Θ) es difícil, por lo que alternativamente se utiliza la siguiente relación, (McDuff y Ellis, 1979):

$$\Theta^2 = \phi F$$

donde:

 $\phi = porosidad.$ 

F = factor de formación.

Por otra parte, se tiene que, (Manheim, 1970):

$$F = \phi^{-n}$$

Sustituyendo F en  $\Theta^2$  y después en Ds llegamos a:

$$Ds = D/(\phi\phi^{-n})$$

Utilizando la porosidad promedio en cada núcleo, n=1.8 (promedio según datos de Deep Sea Drilling Project) y D=9.8x10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>seg<sup>-1</sup> (Berner, 1980b), se calculó el Coeficiente de Difusión para cada núcleo.

El Coeficiente de Difusión para los 9 núcleos de las 3 lagunas costeras se muestran en la Tabla 24.



Estos valores comparados con el obtenido por Ortega-Romero, (1983) fueron muy similares, ya que el promedio para las 3 lagunas fué de 8.31x10<sup>-6</sup> contra 8.36x10<sup>-6</sup> en la laguna del Verde-Camacho en Sinaloa.

Se puede apreciar que el comportamiento geoquímico en la dinámica del ión SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en el sedimento de las lagunas del Golfo de California, tienen un mecanismo diagenético muy similar.

#### Aplicación del modelo de Berner para la concentración de sulfato

Para la estimación de los parámetros del Modelo de Berner transformamos la expresión para la concentración de sulfato en una ecuación equivalente.

Sustituimos:

$$\frac{w^2 F L Go}{w^2 + k} = PARM[1] \qquad k/w = PARM[2]$$

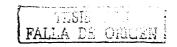
para obtener:

$$C = PARM[1] exp(-PARM[2] x)$$

La estimación de PARM[1] y PARM[2] se realizó aplicando la técnica de Regresión No-Lineal y considerando dos casos: a) columna de sedimento incompleta y b) columna de sedimento completa. Para el primer caso, se eliminaron algunos de los primeros centímetros por considerar que se tendría una columna más consistente u homogénea.

La columna incompleta de los núcleos 1, 7 y 9 se consideró a partir de los 5 cm superficiales, los núcleos 2, 3, 4, 5 y 6 a partir de los 6 cm y el núcleo 8 a partir de los 10 cm superficiales.

Los resultados obtenidos cuando no se toma en cuenta la bioturbación y considerando a éste nivel x=0 se presentan en la Tabla 25.



Ejemplificaremos el procedimiento utilizado en el cálculo de w, k y Go con los valores obtenidos para el núcleo 1.

Como k se expresa en año-1 y w en cm/año:

$$PARM[2] = k/w = 0.01505 \text{ cm}^{-1}$$

de donde:

$$k = 0.01505 \text{ cm}^{-1} \text{ w}$$

Como k=Aw<sup>2</sup>, donde A es una constante empírica igual a 0.04 cm<sup>-2</sup> año, se tiene:

$$k = 0.04$$
cm<sup>-1</sup> año w

Igualando las dos ecuaciones para k y resolviendo para w se obtiene el valor de 0.37625 cm/año o 1.19308x10<sup>-8</sup> cm/seg. Sustituyendo obtenemos el valor para k: 0.00566 año<sup>-1</sup> o 1.79477x10<sup>-10</sup> seg<sup>1</sup>. Como w se expresa en cm/año, F en gr/cm, k en año<sup>-1</sup>, Ds en cm<sup>2</sup>/año y Go en μmol/gr, se tiene:

PARM[1] = 
$$\frac{w^2 F L Go}{w^2 + k Ds}$$
 = 19.82745 µmol gr/cm<sup>6</sup>

sustituyendo w, F, L, k y Ds y resolviendo para Go obtenemos 519.29 μmol/gr 6 5.19x10<sup>-4</sup> mol/gr. Los resultados para todos los núcleos se encuentran en la Tabla 26.

Los resultados obtenidos de PARM[1] y PARM[2] cuando se tomó en cuenta toda la columna de sedimento se localizan en la Tabla 27 y los valores calculados para w, k y Go se muestran en la Tabla 28.



#### Cálculo de la concentración asintótica

El modelo de Berner establece el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

Ds 
$$\delta$$
 C  $^2/\delta$  x - w  $\delta$  C/ $\delta$  x ' LFkG = 0  
- w $\delta$  C/ $\delta$  x - kG = 0

Teóricamente, a medida que la profundidad aumenta, la materia orgánica disminuye y la concentración de sulfato se aproxima a un valor que es llamado concentración asintótica. En términos matemáticos, lo anterior se traduce a lo que se conoce como condiciones de frontera del sistema de ecuaciones diferenciales. Es decir:

$$x \to \infty$$
,  $G \to 0$  y  $C \to C\infty$ 

Las soluciones del sistema de ecuaciones son:

$$C = (w^{2}FLGo)/(w^{2}+kDs)exp((-k/w)x) + C\infty$$

$$G = Go exp((-k/w)x)$$

$$Co - C\infty = (w^{2}FLGo)/(w^{2}+kDs)$$

donde Co es la concentración inicial y Co es la concentración asintótica.

Sea y = C(x) la función que representa el comportamiento de la concentración de sulfato.

Gráficamente, el valor  $C\infty$  representa la recta:  $y = C\infty$  denominada asíntota de la concentración de sulfato.

La asíntota no forma parte de y = C(x), representa un valor límite al cual se acerca C, de tal forma que:

$$\operatorname{Lim}_{\mathbf{X} \to \infty} \mathbf{C}(\mathbf{x}) = \mathbf{C}_{\infty}$$



Las estimaciones obtenidas para la concentración asintótica, en µg-at/gh, de cada núcleo. con la columna incompleta, se presentan en la Tabla 29.

#### Análisis para la concentración de pirita

La concentración de Pirita Cp está modelada por la siguiente ecuación:

$$Cp = L F Go [1-exp(-k/w)x]$$

La estimación de los parámetros se realizó utilizando Análisis de Regresión No Lineal considerando:

$$PARM[1] = L F Go PARM[2] = k/w$$

de donde, el modelo a ajustar es:

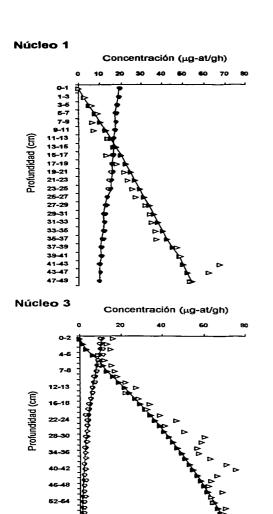
$$Cp = PARM[1]*[1-exp(-PARM[2]*x)$$

Al realizar los análisis, nos encontramos con el problema de que los datos de las concentraciones de los núcleos 6 y 7 se muestran de tal manera que no es posible estimar los parámetros debido a la gran dispersión (ver Figuras 55 y 56). Las estimaciones de PARM[1] y PARM[2] se muestran en la Tabla 30.

Los análisis se realizaron únicamente en la columna incompleta y haciendo la transformación de restarle a cada valor de la concentración el observado en el nivel que divide a la zona de bioturbación del resto del sedimento, donde x=0. Los resultados de las estimaciones de los parámetros del modelo se observan en la Tabla 31.

Las Figuras 54, 55 y 56 nos presentan los valores de las concentraciones de Sulfato y Pirita junto con las curvas teóricas calculadas a partir de las constantes estimadas.





20

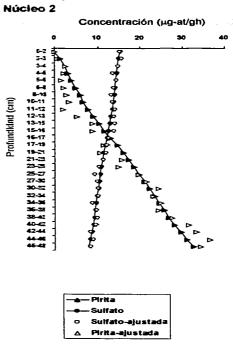
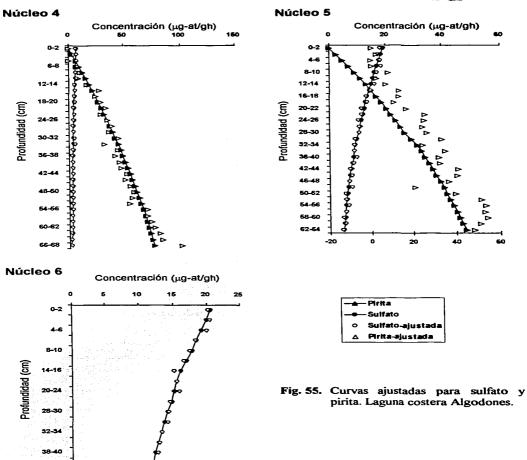


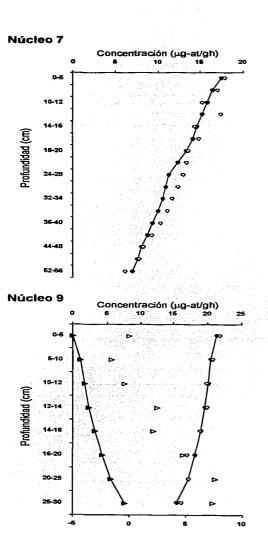
Fig. 54. Curvas ajustadas para sulfato y pirita. Laguna costera Lobos.





42-46 48-60





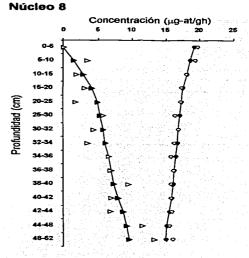




Fig. 56. Curvas ajustadas para sulfato y pirita. Laguna costera Guásimas.

#### Velocidad de formación de pirita

El resultado de la actividad bacteriana en los procesos de reducción de sulfato es la formación de pirita. Si partimos de que todo el sulfuro formado por reducción de sulfato R(SO<sub>4</sub><sup>2</sup>) es atrapado como mineral autigénico (FeS y S<sup>o</sup>), entonces la concentración de estos compuestos viene dada por:

$$R(SO_4^2) = R(Pirita) = LFkGo exp((-k/w)x)$$

Para obtener la cantidad de pirita en un intervalo de profundidad dado, digamos de  $x_1$  a  $x_2$  evaluamos:

$$\Sigma R(Pirita) = \int_{x_1}^{x_2} R(SO_4^2) dx = \int_{x_1}^{x_2} LFkGo \exp((-k/w)x) dx =$$

$$= \int_{0}^{x_2} LFkGo \exp((-k/w)x) dx - \int_{0}^{x_2} LFkGo \exp((-k/w)x) dx =$$

$$= [(-LFkGo/(-k/w)) \exp(-k/w)] \Big|_{0}^{x_2} - [(-LFkGo/(-k/w)) \exp(-k/w)] \Big|_{0}^{x_1} =$$

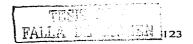
$$= [(-LFGow \exp(-k/w)(x_2)) - (-LFGow \exp(-k/w)(0))] -$$

$$[(-LFGow \exp(-k/w)(x_1)) + (-LFGow \exp(-k/w)(0))] =$$

$$= (-LFGow \exp(-k/w)(x_2) + LFGow) - (-LFGow \exp(-k/w)(x_1) + LFGow) =$$

$$= [LFGow (1 - \exp(-k/w)x_2)] - [LFGow (1 - \exp(-k/w)x_1)] =$$

$$= LFGow (1 - \exp(-k/w)) \Big|_{x_1}^{x_2}$$



Ahora, la velocidad a la que la pirita está siendo producida en un intervalo, puede ser calculada evaluando (Ortega-Romero, 1983):

$$\frac{-}{R_{pirita}} = LFGow [1-exp(-k/w)x] \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix}$$

Los resultados para los nueve núcleos se muestran en la Tabla 32. En las Figs. 57, 58 y 59 se presentan los valores obtenidos, para cada uno de los núcleos se observa una disminución en la velocidad de formación de pirita a medida que la profundidad aumenta.

#### Gradiente de concentración inicial de sulfatos.

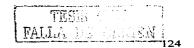
Berner (1980a) encontró que entre el gradiente de concentración inicial de sulfatos y la tasa de sedimentación existe la siguiente relación:

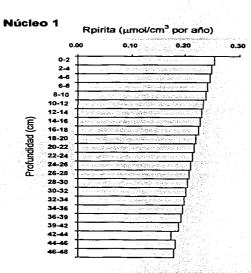
$$w = -B (\delta C/\delta x)_0$$

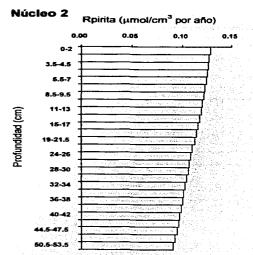
donde w es la tasa de sedimentación,  $(8C/\delta x)_0$  es el gradiente inicial de la concentración de sulfato y B es una constante empírica. Berner (1980a) sugiere emplear una B=1 cm² año¹ mM¹ para los sedimentos en general. Sin embargo, Pácz-Osuna y Osuna-López (1990) calcularon que para el Golfo de California se tiene una B=1.49 cm² año¹ mM¹ y para el margen noroeste de África (Reimers y Suess, 1983) es igual a 0.72 cm² año¹ mM¹.

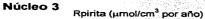
Para calcular B consideremos la siguiente ecuación:

$$C = [w^2 FLGo / (w^2 + kDs)] \exp[(-k/w)x] + C \infty$$









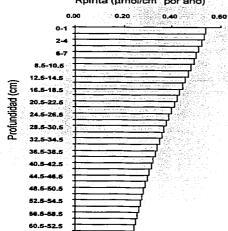


Fig. 57. Velocidad de formación de pirita en los sedimentos de la laguna costera Lobos.



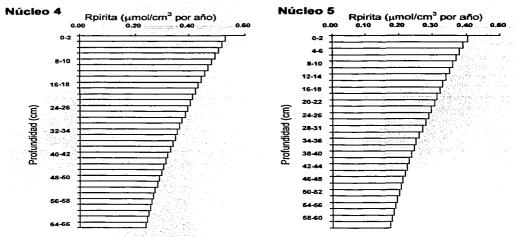


Fig. 58. Velocidad de formación de pirita en los sedimentos de la laguna costera Algodones.

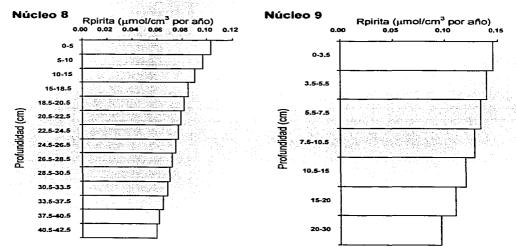


Fig. 59. Velocidad de formación de pirita en los sedimentos de la laguna costera Guásimas.

## Derivando C con respecto a x:

$$\delta C/\delta x = [w^2 FLGo / (w^2 + kDs)] \exp[(-k/w)x](-k/w) + 0$$
  
$$\delta C/\delta x = [-kwFLGo / (w^2 + kDs)] \exp[(-k/w)x]$$

Evaluando en x=0:

$$(\delta C/\delta x)_0 = [-kwFLGo / (w^2 + kDs)] \exp[(-k/w)(0)]$$
  
 $(\delta C/\delta x)_0 = [-kwFLGo / (w^2 + kDs)] (1)$   
 $(\delta C/\delta x)_0 = -(kwFLGo)/(w^2 + kDs)$ 

La Tabla 33 contiene los valores del gradiente de concentración inicial (δC/δx)<sub>0</sub>.

Sustituyendo (δC/δx)<sub>0</sub> en la expresión para w:

$$w = -B (\delta C/\delta x)_0 = -B [-kwFLGo/(w^2+kDs)] = B [kwFLGo/(w^2+kDs)]$$

Despejando B:

$$B = w / (\delta C / \delta x) = w / [kwFLGo / (w^2 + kDs)]$$

Sustituyendo los valores correspondientes se tiene la Tabla 34.

La relación  $w = -B (\delta C/\delta x)_0$  puede ser utilizada para estimar las tasas de sedimentación de los sedimentos costeros, (Páez-Osuna y Osuna-López, 1990).

Los resultados obtenidos en los 9 núcleos para la constante B van desde 1.18 hasta 3.53 y para el gradiente de concentración inicial de 0.11 a 0.44 en la columna incompleta. Para la columna completa se tiene que B toma valores de 1.11 a 2.91 y el gradiente de concentración inicial de 0.11 hasta 0.46.



#### Tasa de sulfato reducción integrada

De la ecuación diagenética en estado estable de Berner (1974):

$$Ds(\delta C/\delta x^2 - w(\delta C/\delta x) - LFkG = Ds(\delta C/\delta x^2) - w(\delta C/\delta x) - R = 0$$

se define la tasa de sulfato reducción integrada como:

$$\sum_{\mathbf{R}} \mathbf{R} = \int_{0}^{\mathbf{x}i} \mathbf{R} \, d\mathbf{x}$$

La solución de la ecuación diagenética está dada por:

C = 
$$[w^2FLGo / (w^2+kDs)] \exp[(-k/w)x] + C_{\infty}$$
  
 $C_0 - C_{\infty} = w^2FLGo / (w^2+kDs)$ 

Sustituyendo Co - C∞ en C:

$$C = [w^2 FLGo / (w^2 + kDs)] \exp[(-k/w)x] + C_{\infty} = (C_o - C_{\infty}) \exp[(-k/w)x] + C_{\infty}$$

Para cualquier profundidad x=xi se tiene:

$$C_{xi} = (C_0 - C_\infty) \exp[(-k/w)_{xi}] + C_\infty$$

Derivando C:

$$\delta C/\delta x = (C_o - C_{\infty}) \exp[(-k/w)xi] + 0 = (C_o - C_{\infty}) \exp[(-k/w)xi](-k/w)$$

$$\delta^2 C/\delta x^2 = (C_o - C_{\infty}) \exp[(-k/w)xi](-k/w) = k^2/w^2 (C_o - C_{\infty}) \exp[(-k/w)xi]$$

Sustituyendo en la ecuación diagenética:

$$Ds(\delta C/\delta x^2) - w(\delta C/\delta x) - R = 0$$

Ds 
$$(k^2/w^2 (C_0 - C_\infty) \exp[(-k/w)x_i]) - w (C_0 - C_\infty) \exp[(-k/w)x_i](-k/w) - R = 0$$

Factorizando y simplificando:

$$(C_0 - C_\infty) \exp[(-k/w)x_i](Dsk^2/w^2 + k) - R = 0$$

Despejando R:

$$(C_0 - C_\infty) \exp[(-k/w)x_i](Dsk^2/w^2 + k) = R$$

La profundidad x, es la que se tiene cuando la concentración de sulfato es menor a 0.2 mM (Martens y Klump, 1984).

La integral de R de la profundidad 0 hasta x; está dada por:

$$\begin{split} \Sigma \, R &= \int_0^{\kappa i} \, R = \int_0^{\kappa i} \, (C_o \cdot C_\infty) \, \exp[(-k/w)x_i] (Dsk^2/w^2 + k) \, dx = \\ &= (C_o \cdot C_\infty) \, (Dsk^2/w^2 + k) \, \int_0^{\kappa i} \, \exp[(-k/w)x_i] \, dx = \\ &= (C_o \cdot C_\infty) \, (Dsk^2/w^2 + k) \, \exp[(-k/w)x_i] (-w/k) \, \Big|_0^{\kappa i} = \\ &= (C_o \cdot C_\infty) \, (Dsk^2/w^2 + k) \, \exp[(-k/w)x_i] (-w/k) \, \Big|_0^{\kappa i} = \\ &= 0 \end{split}$$

$$= (C_0 - C_\infty) (Dsk^2/w^2 + k) \exp[(-k/w)x_i](-w/k) - (C_0 - C_\infty) (Dsk^2/w^2 + k) \exp[(-k/w)(0)] (w/k) =$$

$$= (C_0 - C_\infty) (Dsk^2/w^2 + k) \exp[(-k/w)x_i](-w/k) - (C_0 - C_\infty) (Dsk^2/w^2 + k)(1) ](-w/k) =$$

$$= (C_0 - C_\infty) (Dsk^2/w^2 + k) (w/k) (1 - \exp[(-k/w)x_i])$$

En la Tabla 35 se tienen los valores calculados para la sulfato reducción integrada de los 9 núcleos.

# Vida media del carbono orgánico oxidable

Con w y k podemos estimar la vida media del carbono orgánico utilizando:

$$G = Go \exp(-kt) = Go \exp(-(k/w)x)$$

cuando G = Go/2, (Müller y Mangini, 1980).

En la Tabla 36 se presenta el tiempo estimado de la vida media del carbono orgánico oxidable. Observamos que en la columna incompleta los tiempos van desde 19.15 hasta 787.67 y en la columna completa tenemos de 22.96 a 877.39, valores muy similares de vida media del carbono orgánico en los núcleos completos e incompletos.

Al relacionar la vida media del carbono orgánico oxidable (en años) de los núcleos completos con el potencial redox de éstos, se demuestra que la materia orgánica se preserva por mayor tiempo cuando el potencial redox es más reducido en este caso, (Figura 60).

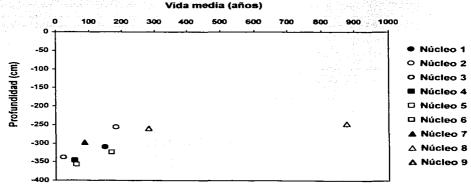


Fig. 60. Relación de la vida media del carbono orgánico oxidable de los núcleos de sedimento con el potencial redox de éstos.



#### Tasa de acumulación en sedimentos

Robbins (1978) presenta una ecuación matemática donde se relacionan dos parámetros sedimentológicos: la tasa de acumulación r (g sedimento seco/cm²-año) y la tasa de sedimentación w (cm/año).

Estos parámetros se relacionan directamente mediante el peso del sedimento m (g seco/cm²) de la siguiente manera:

$$r = dm/dt$$

Como dm/dt = (dm/dz)(dz/dt) se tiene y se sabe que dz/dt = w, entonces:

$$r = (dm/dz)(dz/dt) = (dm/dz) w$$

En términos de la porosidad  $\phi(z)$  (para cada segmento de la columna de sedimento), se tiene que:

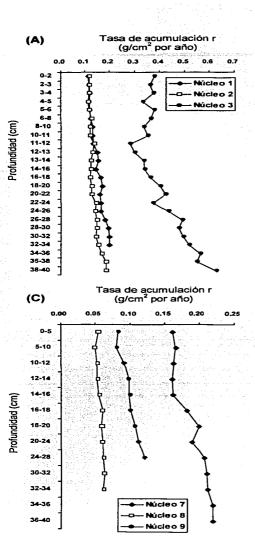
$$dm/dz = \overline{\rho_s}(z) [1 - \phi(z)] \sim \rho_s(z) [1 - \phi(z)]$$

Donde  $\rho_s$  es la densidad del sedimento y  $\overline{\rho s}$  es la densidad promedio. La última equivalencia se justifica cuando la variación en la densidad es menor que la variación en la porosidad.

Así, se tiene como resultado final:

$$r = \rho_s(z) [1 - \phi(z)] w$$

Para los 9 núcleos, utilizando los correspondientes valores para w,  $\rho_s$ =2.55 y  $\phi(z)$  se obtuvieron los resultados mostrados en las Tablas 37 y 38 para sulfato y pirita, respectivamente. En las Figuras 61 y 62 se presentan los valores calculados en toda la columna de sedimento. Se consideraron únicamente hasta profundidades de 40 cm.



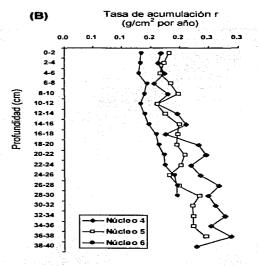
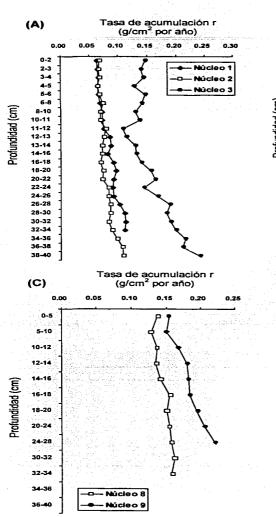


Fig. 61. Tasa de acumulación de sulfatos presente en la columna sedimentaria para las tres lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



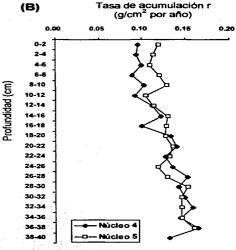


Fig. 62. Tasa de acumulación de pirita presente en la columna sedimentaria para las tres lagunas costeras: Lobos (A), Algodones (B) y Guásimas (C).



En la Tabla 39 se tiene un comparativo de la tasa de sedimentación (w) de otros sitios geográficos con los resultados obtenidos en este estudio.

#### Cantidades totales

Para estimar las cantidades totales de sulfato, sulfuro, pirita y azufre total, se consideró a todos los núcleos hasta una longitud: 40 cm. Se obtuvieron las cantidades totales por núcleo y se calculó el promedio por laguna.

Como los núcleos tienen un diámetro de 10 cm de sección transversal, se calculó el área, el número de núcleos posibles por laguna (dividiendo el área de la laguna entre el área del núcleo) y se multiplicó por la media de la cantidad total por núcleo. Se realizó la conversión a toneladas y los resultados se muestran en la Tabla 40. Es evidente que Laguna Lobos, tiene un inventario diez o veinte veces mayor que las otras dos lagunas en todas las formas químicas del azufre; lo cual se puede deber a que hay un mayor aporte del azufre, por un lado, y/o a que las condiciones de la Laguna Lobos permiten que se formen y depositen más las diferentes formas químicas del azufre y no así en las demás.

En la Tabla 41 se muestran las cantidades totales por metro cuadrado, obtenidas al dividir las cantidades de la tabla anterior por el número de metros cuadrados de cada laguna. Esta es una manera más fácil de realizar comparaciones entre las lagunas. Es obvio que entre Laguna Lobos y Laguna Algodones hay una similitud en los inventarios de cada una de las formas químicas del azufre; y no así en Laguna Las Guásimas, donde la cantidad de pirita y sulfuros es significativamente menor.

## Procesos geoquímicos

En estos sedimentos, los cuales se pueden considerar que tienen una adecuada capacidad reductora (normalmente dado por los compuestos de carbono orgánico), el potencial redox



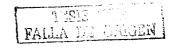
provee un control importante en la acumulación de algunos iones metálicos (Pederson et al., 1989; Saenger et al., 1991; Clark et al., 1997); el pH del agua intersticial también tiene una gran influencia debido a que las reacciones redox usualmente incluyen transferencias de protones y electrones (Morgan, 1987).

El potencial redox de estos sedimentos puede causar un sistema de trampa de iones metálicos debido a los cambios de estado de oxidación del metal en si mismo, o indirectamente a través de un cambio en el estado de oxidación de iones que puedan formar complejos con los metales del medio.

Las reacciones redox en el sedimento son frecuentemente lentas debido a que las reacciones de oxidación y reducción no siempre están acopladas, y por tanto procesos de catálisis son usualmente requeridos a través de intervención microbiológica. De ahí que, se pueden tener minerales presentes en el sedimento aún cuando las condiciones redox favorezcan la existencia de otras formas de mineral; ejemplo, óxidos que puedan estar en el sedimento con un Eh muy negativo o sulfuros que puedan encontrarse en el sedimento con un Eh positivo. Sin embargo, si una reacción redox no es termodinámicamente favorecida en un sistema, la intervención microbiológica no causará efecto al menos que también cambie la actividad microbiológica de otras condiciones termodinámicas (Sposito y Page, 1985).

En los sedimentos anóxicos de estas tres lagunas, dos importantes reacciones pueden ocurrir cuando el Eh cae por debajo de -120 mV. Primero, que los compuestos de SO<sub>4</sub><sup>2</sup>- pueden reducirse para formar compuestos de S<sup>2</sup>- que pueden reaccionar para formar sulfuros metálicos (greigita a pirita) y por otra parte, la actividad microbiana puede degradar material orgánico de alto peso molecular para producir ácidos orgánicos (Sposito y Page, 1985; Bauld, 1986). Las bacterias sulfato-reductoras (*Desulpho vibrio desulphuricans*) utiliza las moléculas orgánicas y obtiene energía reduciendo a los compuestos de SO<sub>4</sub><sup>2</sup>- a S<sup>2</sup>-. Donde el hierro reductor (como óxido de hierro) es disponible; los procesos pueden ser descritos por la reacción:

$$9CH_2O + 4SO_4^{2-} + 4Fe(OH)_3 + 4M^{2+} \rightarrow 4FeS + 4MCO_3 + 15H_2O + 5CO_2$$



donde M<sup>2+</sup> viene a ser cualquier metal divalente, usualmente calcio o magnesio (Jφrgensen, 1982; Berner, 1984). Si el hierro reductor no está disponible, el proceso de sulfato reducción puede darse, pero hay que considerar que el metano es producido en lugar de CO<sub>2</sub> (Manahan, 1990), dado por la reacción:

$$Fe^{2^{+}} + 4CH_{2}O + 2SO_{4}^{2^{-}} + M^{2^{+}} + 16H^{+} \rightarrow FeS + MS + 12H_{2}O + 4CH_{4}$$

En ambientes naturales, como en estas tres lagunas, el monosulfuro de hierro (en reacción idealizada) puede no tener exactamente una relación de 1 a 1 de Fe:S (por ejemplo, Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>, greigita/mackinawita) puede no estar estequiométrica (ejemplo, Fe<sub>1-x</sub>S.nH<sub>2</sub>O), y estar termodinámicamente inestable. Si las condiciones permanecen anóxicas, estos sulfuros biogénicos que se forman en las lagunas pueden recristalizarse a una forma de pirita estable (Berner, 1970a; Manning et al., 1979; Cornwell y Morse, 1987).

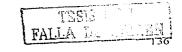
Los sedimentos en la mayoría de las lagunas costeras están caracterizados por potenciales redox negativos, los cuales persisten en algunas ocasiones por encima de la interfase sedimento-agua. En algunas áreas de las lagunas costeras puede haber condiciones oxidantes, donde los procesos biológicos como la bioturbación aérea, exponen a compuestos de azufre como FeS<sub>2</sub>, FeS ó FeSO<sub>4</sub> a oxidarse tal y como se expresa en las siguientes ecuaciones:

$$FeS_2 + H_2O + 7/2O_2 \rightarrow Fe^{2+} + 2 SO_4^{2-} + 2H^+$$

o para monosulfuros:

FeS + 
$$3/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^-$$
  
2Fe  $SO_4^{2-} + 1/2O_2 + 3H_2O \rightarrow 2FeOOH + 2 SO_4^{2-} + 4H^+$ 

es importante expresar que el hierro como ión férrico puede actuar como un oxidante para pirita y otros sulfuros metálicos como:



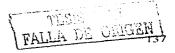
$$FeS + 8Fe^{3+} + 4H_2O \rightarrow 8H^+ + 8Fe^{2+} + SO_4^{2-}$$

cantidades de ácido sulfúrico son producidas por estas reacciones, teniéndose una disminución del pH en el agua intersticial y de esa manera se potencializa la movilización de metales en el sedimento (Dent, 1986; Evangelou, 1995); sulfuros no ferroso pueden también descomponerse por una secuencia de reacciones muy similares. La oxidación de sulfuros puede acelerarse por bacterias, como tiobacilous tioxidantes y tiobacilus ferroxidantes (Evangelou, 1995) que trae como consecuencia precipitación de minerales de hierro en forma de oxihidróxidos que dan una coloración café-naranja en los sedimentos afectados.

#### Influencia de la bioturbación

La fauna existente en los sedimentos de estas lagunas influye en las características físicas y geoquímicas del sedimento, ya que los organismos bentónicos producen mecanismos de aireación e intercambio de oxígeno en la región de la interfase sedimento-agua y de esta manera promoviendo el intercambio y flujo de metales y otros materiales disueltos como CO<sub>2</sub>. H<sub>2</sub>S y CH<sub>4</sub> entre otros (Aller, 1978; Morris *et al.*, 1982; Emerson *et al.*, 1984). Por otra parte, los movimientos de agua a través de los espacios intersticiales producto de los cambios físicos de los organismos, trae como consecuencia que las bacterias sulfato-reductoras estén suministradas de iones SO<sub>4</sub><sup>2-1</sup> para sus procesos reductivos (Bloch y Krouse. 1992) y los productos del metabolismo bacteriano como H<sub>2</sub>S pueden fluir hacia el sedimento (Aller, 1978; Emerson *et al.*, 1984). Es importante resaltar que la transferencia de especies disueltas hacia y desde los sedimentos es debido a variaciones en la presión hidrostática durante el ciclo de mareas (Chanton *et al.*, 1989).

Las fluctuaciones de agua en los niveles de altura, ciclos de marea y con los cambios estacionales en las condiciones climáticas, producen efectos en los procesos geoquímicos en los sedimentos, de ahí que el Eh disminuya debido a la saturación hídrica en la fase sedimentaria (Beckwith et al., 1975; Armstrong, 1978; Gleason y Zieman, 1981; Clark et al.,



1997). Cuando el nivel del agua disminuye los sulfuros que se encuentran cerca de la superficie pueden oxidarse liberando compuestos de sulfuros.

En la Figura 63 podemos representar un modelo geoquímico en donde se pueden apreciar los flujos químicos en el sedimento. Las áreas de oxidación y reducción varían dependiendo de la localización así como de los cambios estacionales y de la columna de agua.

# Modelo geoquímico esquematizado: descripción general

Los procesos redox cerca de la superficie del sedimento dependen de la zona de transición óxica-anóxica y del grado de aireación y mezcla de agua. Un modelo de dos cajas (Baccini. 1985) puede usarse para describir la interacción química asociado con esta transmisión óxico-anóxico y el transporte de especies redox-sensitivas dentro y a través de la zona donde es gobernada por gradientes redox (Salomons *et al.*, 1987; Förstner, 1989).

Oxihidróxidos de hierro, y para los oxihidróxidos de manganeso, arcillas y materia orgánica, cerca de la superficie del sedimento pueden adsorber metales trazas incorporándolos en la estructura de los óxidos o por adsorción hacia las partículas en la superficie (Huang et al., 1987; Birch et al., 1996). Esta absorción cercana a la capa superficial actúa como una barrera que intercepta a los iones que viajan hacia la parte superficial antes que se dispersen hacia el agua suprayacente; el proceso de adsorción se realiza en conjunción con el proceso de sedimentación. Hay que resaltar también que la capa oxidativa en el sedimento actúa como una fuente de iones metálicos hacia la columna de agua (Förstner, 1989).

Si tenemos cambios en la composición química, la escasa circulación puede causar que los procesos anóxicos se incrementen y que en el sedimento exista un ambiente reductor y por lo tanto se tenga una liberación de iónes metálicos del sedimento por causas fisico-químicas o biológicas (Birch et al., 1996).



Es común que en la parte superior de la columna sedimentaria se tengan características redox altamente variables, las cuales son producto de un sedimento de color cambiante (jaspeado) que dan cambios rápidos en Eh en distancias muy cortas, tanto verticales como horizontales (túneles) o deformaciones espaciales en el sedimento, lo cual puede causar una ventilación debido a la penetración de oxígeno. También la descomposición de material vegetativo y animal puede causar el desarrollo de zonas altamente reducidas (Armstrong, 1978, 1982; Wada y Seisuwan, 1986) en el sedimento, el cual es reflejado por un color oscuro y con un olor a H<sub>2</sub>S.

Como resultado de los cambios rápidos en el potencial redox y en la capacidad reductora en la parte superior del sedimento, se tiene un potencial reductor producto de los sulfuros biogénicos (H<sub>2</sub>S) desarrollado en zonas altamente reducidas, los cuales reaccionan con compuestos férricos presentes en zonas oxidadas, para formar pirita o sulfuros de hierro de forma criptocristalino (Lu y Chen, 1977; Salomons, 1985; Wada y Seisuwan, 1986; Salomons et al., 1987). La pirita formada en este tipo de ambientes por lo regular son microcristales esféricos o grupos de forma framboide que pueden contener desechos orgánicos; por lo regular son libres de material orgánico (Rickard, 1973; Van Dam y Pons, 1973).

En los sedimentos de estudio se observó una evidencia que indica la presencia de zonas redox de transición. Muy cerca de la superficie hay una delgada zona dominada por sedimentos oxidados (zona superior de oxidación, Figura 63), no mayor de 4 cm, grosor que varía de acuerdo a la columna de agua del sistema lagunar. Por debajo de esta zona oxidada del sedimento, está caracterizada por una zona superior de reducción la cual se localiza hasta unos 15 cm de profundidad; sin embargo en ciertas épocas que tienen influencia sobre la columna de agua esta zona superior de reducción desaparece, teniéndose la zona superior de oxidación hasta una profundidad de 25 cm correspondiendo a una área denominada zona inferior de oxidación, debajo de la zona inferior de oxidación las condiciones se vuelven reductoras (zona inferior de reducción). Estas condiciones de transición de óxido reducción en la columna de sedimento, son debidas a los cambios graduales del Eh y a la capacidad de sulfato-reducción que se da en los ambientes sedimentarios lagunares; condiciones y capacidades que se desarrollan de acuerdo al sitio o región geográfica.

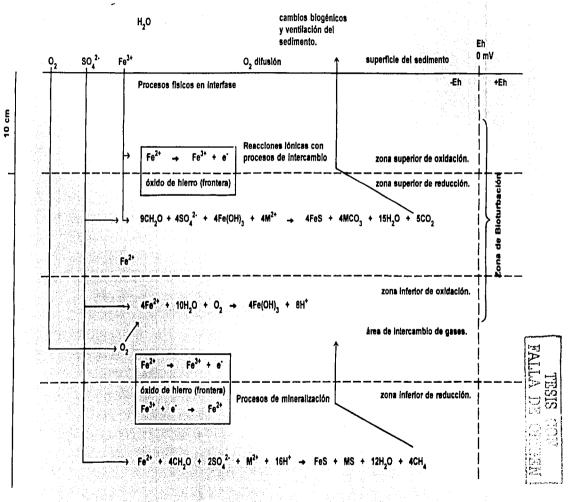
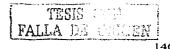


Fig. 63. Modelo geoquímico de flujos químicos sedimentarios. (Según Clark et al., 1998).



En la Figura 63, se pueden observar los procesos biogeoquímicos que pueden ocurrir en columnas sedimentarias de una profundidad de 70 cm.

## Zona superior de oxidación

La zona superior de oxidación está controlada o limitada por procesos de difusión del oxígeno atmosférico. La profundidad a la cual el oxígeno puede difundirse podrá ser controlado por: la textura del sedimento, influido por la porosidad y permeabilidad (Hutchings y Saenger, 1987); la posición de la columna de agua la cual podría variar estacionalmente con la lluvia o ser controlada por las mareas; y la naturaleza del área geográfica. La mayoría de los metales trazas en esta zona están presentes como oxihidróxidos o absorbidos a oxihidróxidos, arcillas o materia orgánica; por lo tanto, metales divalentes no son abundantes. Sin embargo, metales asociados con otros minerales, particularmente minerales de sulfuro pueden ser encontrados en esta zona en sitios donde la zona superior de reducción esta muy cercana a la interfase sedimento-agua.

# Zona superior de reducción

La zona superior de reducción está caracterizada por una intensa sulfato reducción bacteriana en presencia de hierro (Fe<sup>3+</sup>) lo cual permite la formación de minerales de sulfuro y de carbonatos. Algunos metales de transición como Cu y Pb forman especies con CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> en esta zona, pero por lo común los metales de transición en esta zona están asociados a minerales de sulfuro.

La zona superior de reducción es también afectada por procesos de bioturbación y por cambios bruscos en el sedimento, los cuales permiten la penetración de agua rica en sulfato en el sedimento y a su vez la liberación de compuestos reducidos.



Los orificios y túneles que se hacen en el sedimento, ventilan al sedimento, introduciendo oxígeno en la zona superior de reducción dando lugar a la formación de óxidos y oxihidróxidos en la parte superior de la entrada de los túneles; las zonas oxidadas alrededor de los túneles le dan al sedimento en esta zona una apariencia jaspeada.

La transición entre la zona superior de reducción y la zona superior oxidada, produce cambios en las condiciones redox y por tanto favorece la acumulación de metales pesados (Förstner, 1989) y consecuentemente en estas áreas de transición se tienen picos de concentración de metales pesados dentro de la zona superior de reducción. Por otra parte, se puede también tener una concentración de metales pesados que coincidan con altos gradientes geoquímicos en el área de la zona superior de reducción y la zona oxidada inferior.

#### Zona inferior de oxidación

En la zona inferior de oxidación se da liberación de oxígeno y se refleja con incrementos de En y pequeños decrementos en el pH, Figura 63. Aunque por lo común, los enlaces con óxidos y metales intercambiables son más comunes en zonas inferiores de oxidación, metales unidos a sulfuros son también abundantes en este tipo de zonas.

#### Zona inferior de reducción

La zona inferior de reducción (30-50 cm de profundidad) está caracterizada por el proceso de sulfato-reducción donde el Fe<sup>3+</sup> es escaso, además se tiene una disminución de los compuestos de carbonato formados en la zona superior de reducción. Es muy probable que los metales pesados estén enlazados a sulfuros en esta zona, ya que más del 90% de los metales pesados están unidos a compuestos de sulfuro. Se tienen aquí los más bajos potenciales redox en el sedimento y podemos considerar que la formación de sulfuros podrá estar limitado por la disponibilidad de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> el cual no puede penetrar la columna sedimentaria vía migración o infiltración.



La naturaleza y desarrollo de la estratificación redox en la columna sedimentaria depende del régimen de mareas y del tipo de sedimento, la frecuencia de las mareas, la presencia o ausencia de procesos de bioturbación en el medio.

# Descripción de los procesos estudiados en la columna de sedimento

En las tres lagunas costeras se tiene una producción de sulfuros autigénicos, ya que son áreas ricas en azufre. En la aplicación de los modelos diagenéticos en la distribución del S se pudo apreciar que están relacionados con la erosión/sedimentación, las velocidades de advección, oxidación y reducción de los compuestos de azufre. En la superficie sedimentaria y la interfase sedimento-agua en estos sistemas lagunares es una región muy activa de procesos de óxido-reducción que asemeja a un reactor. Como resultado de lo anterior, el grado de piritización en el presente estudio, nos refleja que poco hierro ha sido transformado a FeS<sub>2</sub>, lo cual indica que hay suficiente hierro presente en los sedimentos para generar pirita y consolida la razón del origen autigénico de éste compuesto.

En la presente investigación la producción de sulfuros está intimamente relacionada a la disponibilidad de materia orgánica, en los tres cuerpos costeros, la cantidad de materia orgánica proviene de la vegetación propia y adyacente al ambiente acuático.

Los compuestos de especies químicas de azufre varían de acuerdo a su área geográfica dentro de la laguna, pero su comportamiento más que a nivel de la interfase sedimento-agua es en la distribución en el núcleo, esto se debe a que el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> es utilizado en el proceso de oxidación de la materia orgánica del medio, teniendo como consecuencia una deaminación gradual en su concentración a medida que aumenta la profundidad del núcleo.

Se puede considerar a las tres lagunas en estudio como sistemas lagunares en estado estable respecto a SO<sub>4</sub><sup>2</sup>. En lo que respecta a los compuestos de S<sup>2</sup> soluble, se tienen variaciones de igual manera que con SO<sub>4</sub><sup>2</sup>, de acuerdo a su ubicación geográfica en las lagunas. Hay que suponer que estas diferencias de concentración en el espacio tanto para SO<sub>4</sub><sup>2</sup> como para S<sup>2</sup>

resultan de una combinación de factores o procesos tales como: la difusión, sedimentación, advección, bioturbación, mezcla y cambios redox, los cuales provocan cambios cualitativos y cuantitativos en las especies químicas predominantes en el medio sedimentario.

La distribución de la concentración de FeS<sub>2</sub> varia de acuerdo al lugar geográfico del núcleo en la laguna costera y entre las lagunas. Las variaciones son debidas principalmente a los factores o procesos en que se ven influidas las especies químicas de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y S<sup>2-</sup> en el medio sedimentario. En el presente estudio el S como FeS<sub>2</sub> contribuye en un alto porcentaje al contenido de azufre total del sedimento, diversos autores ( Kaplan *et al.*, 1963, Berner, 1964a, y Berner, 1970b), han demostrado que ocurre lo mismo en estuarios y cuencas de latitudes templadas.

Los comportamientos de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, S<sup>2-</sup> y FeS<sub>2</sub> en los tres sistemas lagunares son muy similares a los encontrados en investigaciones realizadas por Berner (1964a), Goldhaber y Kaplan (1974, 1980).

El comportamiento de las especies químicas de azufre que se analizaron (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, S<sup>2-</sup> y FeS<sub>2</sub>) en la columna de sedimento, se puede expresar como la interacción de una serie de procesos que se desarrollan desde la interface sedimento-agua hasta los 60-70cm de profundidad del núcleo sedimentario. En la Figura 63 se aprecia el posible efecto que tendría en cada nivel de profundidad, las interacciones que involucran al azufre, la materia orgánica, el oxígeno y el hierro.

Se puede considerar que la columna sedimentaria puede ser afectada por cuatro procesos a lo largo de su distribución: en un primer nivel. por actividad de bioturbación, posteriormente en un segundo nivel una capa que además de ser afectada por bioturbación se tiene un efecto mecánico por acción fisica de marcas y oleaje, un ejemplo sería el efecto provocado por los ciclones y huracanes; el tercer nivel viene a corresponder a un área de la columna sedimentaria hasta donde se tiene efecto por las variaciones estacionales en la concentración del ión en la columna de agua (amortiguación por difusión) y por último un nivel que pertenece al resto de

la columna de sedimento, en la cual se tiene poca influencia de procesos de tipo físico o biológicos.

En algunos núcleos se puede apreciar que hay una disminución en la concentración de  $SO_4^{2-}$  con un aumento en la concentración de  $FeS_2$  en el medio, aunado a una disminución en el carbono orgánico a través de la columna de sedimento. Esta concordancia en los tres parámetros químicos puede indicar que la  $FeS_2$  está siendo formada en este ambiente en base a la oxidación del carbono orgánico por los sulfatos del medio.

En el presente estudio se observa que la concordancia entre  $SO_4^{2-}$  y carbono orgánico es muy apreciable (Figuras 45, 46 y 47), se puede observar la relación inversa en el grado de cambio entre  $SO_4^{2-}$  y  $FeS_2$ . Lo anterior, viene a confirmar la hipótesis de que el cambio máximo que se dá entre  $SO_4^{2-}$  y  $FeS_2$  en los primeros centímetros del sedimento (0-10 cm). Berner (1964a) en estudios realizados en sedimentos del Golfo de California, supuso que la mayor parte de la  $FeS_2$  es originada cerca de la superficie del sedimento, donde existe un contacto con la reserva de  $SO_4^{2-}$ . Además, Volkov (1961) menciona evidencias acerca de que la mayor parte de  $FeS_2$  formada en los sedimentos recientes del Mar Negro tiene su origen en la capa sedimentaria.

En las tres lagunas de estudio, la pirita encontrada puede formarse en los sedimentos superficiales reducidos, como se aprecia en los potenciales redox (ver Tablas 12, 13 y 14), aún que en el agua suprayacente contenga oxígeno, o como menciona Emery y Rittenberg (1952) en microambientes reducidos en sedimentos oxidados.

Los estudios realizados en ésta región sobre diagénesis de compuestos de azufre (incluido éste estudio y Ortega-Romero, 1983) explican que la FeS<sub>2</sub> es autigénica y que se está formando en la región de la interface sedimento-agua donde se tiene una gran reserva de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Como hemos mencionado, la principal fuente de sulfuro para la formación de FeS<sub>2</sub> en los sedimentos marinos es el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disuelto en el agua de mar. Para llevar a cabo la reducción de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> a sulfuro se requiere materia orgánica como una fuente de energía. Sin materia orgánica metabolizable no se dá el proceso de sulfato reducción ni la formación de FeS<sub>2</sub>. La sulfato

reducción es una función directa de la concentración de materia orgánica disponible. De ahí, para que se dé la formación de FeS<sub>2</sub> se deberá tener una concentración dada de H<sub>2</sub>S en los sedimentos y que para que ese proceso exista deberá desarrollarse un control dado por la concentración y la reactividad de los compuestos de hierro. Si la abundancia de materia orgánica está presente de tal manera que la concentración de H<sub>2</sub>S se mantiene en valores altos por largo tiempo, la cantidad de FeS<sub>2</sub> puede ser limitada por la cantidad de hierro, en tal caso los valores del grado de piritización podrían aproximarse o aún exceder a 1. Los valores obtenidos para el grado de piritización (Gp<0.5) en las tres lagunas investigadas, expresan la presencia de una evolución incompleta a FeS<sub>2</sub> del Fe soluble, es decir, el Fe no es un factor limitante en la formación de FeS<sub>2</sub>.

Las concentraciones relativamente altas de sulfuro total (>10,000 ppm, Berner, 1964a, Golfo de California) principalmente en la forma de FeS<sub>2</sub>, pueden ser formadas en los sedimentos por la combinación de procesos de sulfato reducción bacteriana, difusión iónica y reacciones de H<sub>2</sub>S con minerales de hierro. Las bajas concentraciones de hierro reactivo pueden resultar en valores bajos de FeS<sub>2</sub> y así el sulfuro total permanece indiferente de la concentración de sulfuro disuelto. Es muy probable que en los sedimentos estudiados aquí, la mayoría de la FeS<sub>2</sub> fué formada originalmente cerca de la superficie de los sedimentos.

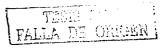
Mucho del sulfuro producido puede ser química o biológicamente reoxidado cerca de la interfase óxica-anóxica y es por lo tanto reciclado desde el sedimento.

Los resultados del presente estudio ilustran la complejidad de los mecanismos involucrados en el ciclo del azufre en lagunas costeras, los sedimentos estudiados podríamos dividirlos en al menos dos zonas de profundidad, basadas en la presencia o ausencia de efectos de bioturbación. En la capa superior (en los primeros 15 cm) donde la mezcla por fauna sugiere la existencia de un agente importante que afecta la transferencia de azufre (como SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) en el sedimento. Esta conclusión fué obtenida debido a los cambios en la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en el agua intersticial y en el cual a través de la profundidad los contenidos de FeS<sub>2</sub> autigénica indica que una gran cantidad de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ha sido reducido a sulfuro. Lo anterior, refuerza que el azufre reducido en sedimentos está generalmente asociado con mecanismos de reducción

microbiana. En ambientes ricos de azufre de los sedimentos marinos como éstos, la FeS<sub>2</sub> es el producto final normal de la sulfato reducción, (Golhaber y Kaplan, 1974).

En sedimentos marinos y estuarinos, un mecanismo de reacción que se presenta es la conversión de sulfuros volátiles a pirita en presencia de especies de azufre, como azufre elemental o polisulfuros (Berner, 1970b, 1984; Goldhaber y Kaplan, 1974; Rickard, 1975). Una vez en la fase sedimentaria, la pirita es geológicamente estable.

Los principales factores que controlan la formación de minerales de sulfuro de hierro son la cantidad y reactividad tanto de la materia orgánica como del hierro en el sedimento, así como también la disponibilidad de sulfato disuelto (Berner, 1984). La conversión de sulfuro volátil a pirita parece estar controlada por la disponibilidad de oxidantes y por el tiempo de depositación (Middelburg, 1991). Oxidación de H<sub>2</sub>S y FeS puede llevarse a cabo por oxidantes tales como O2, NO2-, MnO2 y FeOOH (Aller y Rude, 1988). Los oxidantes pueden ser reemplazados en el sedimento cuando se dan procesos de difusión y bioturbación entre otros. De acuerdo a algunos autores (Berner, 1970b; Middelburg, 1991; Shoonen y Barnes, 1991) la presencia, como intermediario, de especies de azufre reducido (azufre elemental, polisulfuros, tiosulfatos) en el medio acuoso, catalizan la conversión de FeS a pirita. En sedimentos marinos pelágicos, la disponibilidad de carbono orgánico es generalmente el factor limitante para la formación de pirita (Berner, 1970b, 1984). En cambio, en sedimentos marinos ricos en material orgánico-terrígeno depositado bajo condiciones óxicas, la presencia de óxidos de hierro por lo regular limita la transformación del sulfuro disuelto como consecuencia de la precipitación del sulfuro de hierro (Canfield y Raiswell, 1991). En contraste, la disponibilidad de hierro reactivo puede limitar la formación de pirita en ambientes euxínicos (aguas anóxicas en el fondo) y semieuxínicos (Berner, 1984; Raiswell y Berner, 1985; Raiswell et al., 1988; Calvert y Karlin, 1991; Middelburg, 1991; Lyons y Berner, 1992).



# Estimación de los parámetros del Modelo de Berner

En la obtención de los parámetros del Modelo de Berner se consideró que la bioturbación consistía de aproximadamente los primeros 10 cm de profundidad, como medida de un ambiente de influencia por organismos bentónicos. Se definieron dos casos para el estudio de sulfato: a) la columna de sedimento incompleta, sin bioturbación y b) la columna de sedimento completa. Se incluye a la bioturbación tomando en cuenta su importancia y en el efecto en la estimación de los parámetros. Cabe hacer notar que Berner supone que la bioturbación no entra como variable al modelo.

Observando las Tablas 25 y 27, tenemos que las diferencias en las estimaciones de los parámetros en ambos casos no son muy grandes. Además, los valores obtenidos por Ortega-Romero (1983) caen dentro de los intervalos obtenidos en el presente estudio. En las Tablas 26 y 28 se muestran los parámetros estimados para k, w y Go.

Para pirita se encontró que en dos núcleos (6 y 7) no fué posible ajustar el modelo de Berner, debido a la gran dispersión presentada, lo cual se pudo haber debido a un comportamiento irregular no exponencial del incremento de FeS<sub>2</sub> a medida que aumenta la profundidad. Tablas 30 y 31. En general, se observa que en todos los núcleos la pirita no tuvo un comportamiento tan cercano al modelo estimado como fué el caso del sulfato.

En la Tabla 42 se tiene una comparación de w y Go para SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y FeS<sub>2</sub> para los nueve núcleos, se puede observar que la velocidad de sedimentación (w) tiene poca variación porcentual entre columna completa y columna incompleta. Se tiene una diferencia significativa comparando w de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> con el correspondiente para FeS<sub>2</sub>.

En la Tabla 39 se puede apreciar la velocidad de sedimentación del presente estudio comparado con otros lugares o regiones del mundo. Globalmente, las tres lagunas costeras en estudio tuvieron un intervalo de la tasa de sedimentación de 0.15 a 0.95 cm/año, sin considerar la bioturbación y de 0.14 a 0.87 cm/año considerando la bioturbación. La Laguna Lobos su intervalo es de 0.30 a 0.87 cm/año parecido al comportamiento de la tasa de sedimentación de

FALLE I

Venice, Italia de 0.3 a 0.7 cm/año; la Laguna Algodones su intervalo en la tasa de sedimentación es de 0.32 a 0.55 cm/año parecida a los resultados obtenidos en Long Island Sound, USA que fué de 0.3 a 0.6 cm/año; la Laguna Guásimas su intervalo fué de 0.14 a 0.45 cm/año parecido a los valores de tasa de sedimentación de Guarapina, Brasil (0.1 a 0.3 cm/año), Kiel Bight, Germany (0.1-0.3 cm/año).

#### Resultados de estudios anteriores

En las Tablas 33, 34, 35, 36, 43, 44 y 45 se muestran los resultados obtenidos en estudios anteriores para gradiente de concentración inicial de sulfato, constante B, tasa de sulfato reducción integrada, vida media de carbono orgánico oxidable, sulfato, sulfuro y pirita, respectivamente.

En la Tabla 33, se presentan los resultados obtenidos de los gradientes de concentración inicial de sulfatos para las nueve columnas sedimentarias estudiadas, los valores estuvieron dentro de un intervalo de 0.11 a 0.46 mM/cm, resultados que comparados con los que obtuvieron Paez - Osuna y Osuna-López, (1990) en sedimentos del Golfo de California son algunos muy similares (núcleos 1, 2, 4, 6, 8 y 9), en cambio los núcleos 3, 5 y 7, los gradientes de concentración inicial de sulfato estuvieron en un intervalo de 0.35 a 0.46 mM/cm, esto es, un factor de 2 comparado con los otros núcleos, tanto de este estudio como el de Paez-Osuna y Osuna-López (1990).

Los valores de la constante B, del modelo utilizado (Tabla 34), estuvieron en un intervalo de 1.11 a 2.9 con columna completa y entre 1.18 a 13.5 en columna con bioturbación, resultados muy similares a los obtenidos por Berner, (1978a) y Paez-Osuna y Osuna-López (1990).

Los valores calculados de la tasa de sulfato reducción integrada (Tabla 35), para las tres lagunas costeras aquí estudiadas, están en un intervalo de 0.30 a 1.26 mol/m² por año para la columna de sedimento completa, y entre 0.32 a 1.27 mol/m² por año para la columna sin

TALLA ....

bioturbación, valores que están muy por debajo de los calculados por Martens y Klump (1984).

En la Tabla 36 se tienen los valores de vida media de carbono orgánico oxidable, estos valores estuvieron en un intervalo de 22.95 a 877.39 para la columna completa, valores muy similares a los obtenidos por Paez-Osuna (1988) en el Mar de Cortés. Los valores para la columna sin bioturbación estuvieron en el intervalo de 19.15 a 787.66, muy semejantes a los obtenidos para la columna completa.

En las Tablas 43, 44 y 45 se tienen las concentraciones de sulfatos, sulfuros y pirita de otros estudios, incluyendo los del presente trabajo. La concentración de sulfatos para este estudio, estuvo en el intervalo de 2.98 a 30.41 mM, valores que comparados con otros estudios son similares, de acuerdo al tipo de zona. La concentración de sulfuros para las tres lagunas costeras estuvo en el intervalo de 0 a 11.20 mM parecido a los resultados obtenidos por Nissenbaum *et al.* (1972); Ortega (1983) y Henrich y Farrington (1987).

# Mecanismo de formación de pirita (FeS2)

Sulfato disuelto y pirita son las formas más oxidadas y reducidas en que el azufre existe en los ambientes marinos. Considerando al sulfato disuelto y pirita como las formas principales en que el azufre existe en los ambientes sedimentarios de las tres lagunas costeras en estudio, podemos mencionar que el sulfato proporcionado por el sistema marino adyacente a los sistemas lagunares es la fuente principal de azufre para la formación de pirita en el medio.

El posible mecanismo del proceso reductor  $SO_4^{2-} oup FeS_2$  ha sido estudiado por diversos autores y es considerado bastante complejo. De acuerdo a la presente investigación se puede decir que los sulfatos son reducidos a sulfuros en condiciones anóxicas, esta reducción puede llevarse a cabo en la capa adyacente a la interface sedimento-agua o en los espacios intersticiales del sedimento a través de bacterias que utilizan carbono como fuente de energía.



De esta manera, la producción de sulfuros está muy relacionada a la disponibilidad de materia orgánica. En las lagunas investigadas la cantidad de materia orgánica presente proviene de la vegetación propia, el fitoplancton y material orgánico y adyacente al ambiente acuático.

El sulfuro formado (SO<sub>4</sub><sup>2</sup>· HS<sup>-</sup>) vía oxidación de la materia orgánica por sulfato, puede reaccionar por diversos caminos para dar lugar a pirita. El camino principal es la reacción con óxido de hierro (fuente de hierro dominante en la mayoría de los sedimentos) la cual se puede expresar como:

- a)  $3HS_{AC}^{+} + 2FeO \cdot OH_S \rightarrow S^0 + H_2O + 3OH^{-} + 2FeS_{0.9}$  mackinawita (no estequiométrico)
- b)  $3H_2S_{AC} + 2Fe OH_S \rightarrow S_S^0 + 4H_2O + 2FeS_S$
- c) HS<sup>-</sup> + FeO·OH → Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub> greigita
- d)  $Fe_3S_4 + 2S^0 \rightarrow 3FeS_2$  pirita
- e) FeS + S°  $\rightarrow$  FeS<sub>2</sub> pirita

De los sulfuros de hierro ácido volátil los más importantes en los sedimentos son la mackinawita (FeS<sub>0.9</sub>) y greigita (Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>), esta última considerada como el principal intermediario en la formación de pirita. Los compuestos de FeS y Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub> están presentes en abundancia en el sedimento de lagos, marismas y lagunas costeras (Van Straaten, 1954; Love, 1967; Doyle, 1968; Berner, 1970b). Una reacción que probablemente sucede en el sedimento es la de mackinawita a greigita:  $3\text{FeS} + \text{S}^{\circ} \rightarrow \text{Fe}_3\text{S}_4$  (Berner, 1971), transformándose posteriormente a pirita a través de una reacción con azufre elemental. El mecanismo por el cual mackinawita y greigita son transformados a pirita no es bien entendido, pero sin embargo, se ha propuesto que ocurre a través de reacciones que involucran al azufre elemental (Ostroumov et al., 1961; Volkov, 1961; Berner, 1970b).

Autores como Roberts et al. (1969); Rickard (1975); Berner (1970b); Sweeney and Kaplan (1973a); entre otros, han concluído que la reacción FeS + S° dá lugar a FeS<sub>2</sub> y en la ausencia de S° no se realiza la formación de FeS<sub>2</sub>, de ahí que S° en los sedimentos sea de gran interés y que tenga un papel importante en la transformación de las fases de sulfuro de hierro por lo que

BATTA ON MINER

Sº podría ser limitante para el sulfuro ácido volátil en su transformación a pirita (Berner, 1970b).

Un posible mecanismo en la formación de S° en los sedimentos es a través de la oxidación de  $S^{2-}$  a S°  $(2H_2 + O_2 \rightarrow 2S^{\circ} + 2H_2O)$  lo cual ayuda a la hipótesis de Harmsen *et al.* (1954), de que las formas piríticas se dan por la reacción directa de hydrotroilita y azufre elemental:

$$FeS + S^o \rightarrow FeS_2$$

También, la formación de Sº se realiza por oxidación fotosintética de sulfuros, ya sea en condiciones anóxicas u óxicas lo cual se puede llevar a cabo en la columna de agua por medio de cyanobacterias (Jargensen *et al.*, 1979), o a través de los iones Fe<sup>3+</sup> y NO<sup>-3</sup> que pueden actuar como aceptores de electrones;

$$HS^- + 2Fe^{3+} \rightarrow S^0 + 2Fe^{2+} + H^+ \text{ (Berner, 1970b)}$$

De acuerdo a la serie de procesos de óxido-reducción que involucran al mecanismo  $SO_4^{2-} \rightarrow FeS_2$  en los sedimentos, en la Figura 64, se aprecian las diferentes vías e intermediarios que implican la reducción de  $SO_4^{2-}$  a  $FeS_2$  (Goldhaber y Kaplan, 1974), los cuales se pueden estar desarrollando en las tres lagunas costeras en estudio.

Las distribuciones de los compuestos de azufre como sulfatos, sulfuro soluble y pirita en las tres lagunas costeras, tienen variaciones espaciales, resaltando las variaciones del ión sulfato, ya que es la fuente principal de estos compuestos en las lagunas costeras. Estos cambios en la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> se pueden deber a dos factores: el primero que es utilizado para la oxidación de la materia orgánica del medio, teniendo como consecuencia una disminución gradual en su concentración a medida que aumenta la profundidad del núcleo muestreado; el otro factor puede deberse a los cambios en la fuerza iónica existente en la distribución del agua intersticial en la columna sedimentaria.

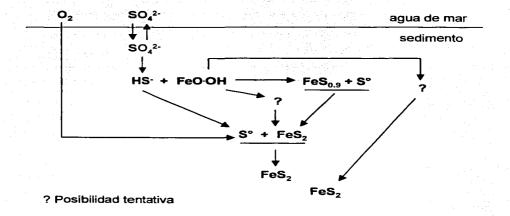


Fig. 64. Vías de óxido-reducción en el mecanismo SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → FeS<sub>2</sub> en el sedimento. (Según Goldhaber y Kaplan, 1974).



Por otra parte, es importante mencionar que las variaciones en la concentración de sulfuro soluble pueden surgir de una serie de procesos tales como difusión, sedimentación, advección, bioturbación, mezcla y cambios redox, los cuales provocan alteración en la concentración de sulfuro soluble, oxidándolo o reduciéndolo.

En la distribución de la concentración de pirita + azufre elemental se aprecian pocos cambios debido a que la cinética de formación es lenta y además, no hay difusión (FeS es insoluble) por lo que no responde a gradientes de concentración variable, Kaplan et al. (1963) y Berner (1964a) entre otros, han encontrado que la concentración de azufre elemental es muy baja, comparada a la concentración de pirita en el sedimento, hecho que también se evidenció en los sedimentos lagunares aquí estudiados.

Por otra parte, las diferentes especies químicas de Fe pueden tener un papel inhibidor-limitante en el proceso de formación de FeS<sub>2</sub> en las lagunas costeras en estudio, al igual que el S.

En las siguientes reacciones se aprecian las series de mecanismos que involucran al Fe:

- 1.  $SO_4^2 \rightarrow HS^1 \rightarrow S^0 + Fe_3S_4 \rightarrow FeS_2$
- 2.  $SO_4^{2-} \rightarrow HS^- + FeOOH \rightarrow Fe_3S_4 + S^0 \rightarrow FeS_2$
- 3.  $SO_4^{2^\circ} \rightarrow HS^\circ + FeOOH \rightarrow FeO_{0.9} + S^\circ \rightarrow Fe_3S_4 + S^\circ \rightarrow FeS_2$
- 4.  $SO_4^{2-} \rightarrow HS^- + FeOOH \rightarrow FeS_2$

En las Figuras 34 a 36 se puede apreciar la distribución de la concentración acumulativa de las especies de azufre en las tres lagunas costeras. Para cada uno de los núcleos se observa que FeS<sub>2</sub>+S<sup>o</sup> contribuyen en un alto porcentaje (70 a 80%) al contenido de azufre total del sedimento. Diversos autores tales como Kaplan *et al.* (1963); Berner (1964a) y Berner (1970b), han encontrado una similar situación en sedimentos marginales costeros y estuarinos en latitudes templadas.



Al igual que en el estudio realizado en la laguna El Verde (Ortega-Romero, 1983) se puede generalizar que las columnas de los núcleos sedimentarios se ven influidos por una serie de procesos que afectan hasta una determinada profundidad. Lo anterior lo podemos esquematizar mediante la Figura 65.

En la parte superior (6 a 8 cm) se ve afectada principalmente por bioturbación, después se tiene una capa que además de incluir bioturbación se implica el efecto mecánico por acción de oleaje y mareas, por ejemplo durante la época de ciclones; la tercera capa corresponde hasta el límite del efecto de las variaciones estacionales en la concentración del ión en la columna de agua (amortiguación de difusión) y una última capa que pertenece al resto de la columna de sedimentos en la cual se tiene poca influencia de procesos de tipo físico o biológicos.

Berner (1964a), en estudios realizados en sedimentos del Golfo de California, supuso que la mayor parte del FeS<sub>2</sub> fuese originada cerca de la superficie del sedimento, donde existe una interacción con la reserva de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. También Volkov (1961), menciona evidencias acerca de que la mayor parte de la pirita formada en los sedimentos recientes del Mar Negro tienen su origen en la superficie. Por otra parte, Emery and Rittenberg (1952), Harmsen *et al.* (1954) y Kaplan *et al.* (1960) encontraron que la pirita puede formarse sobre sedimentos de superficie reducida en la cual el agua suprayacente contiene oxígeno, o en microambientes reducidos en sedimentos oxidados (Emery y Rittenberg, 1952). De lo anterior podemos explicar que la pirita es autigénica y que se forma cerca a la interfase sedimento-agua donde la reserva de sulfatos es grande.

Diversos estudios han concluído que en muchos sedimentos costeros, la proporción de formación de FeS<sub>2</sub> es más rápida en la superficie del sedimento y decrece con la profundidad (Berner, 1972).

Los cambios en la distribución de sulfato, carbono orgánico y pirita con la profundidad, pueden deberse al grado de sedimentación y a los cambios inducidos por la dinámica misma de los sistemas lagunares.

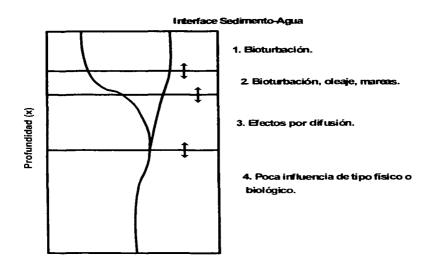


Fig. 65. Posibles efectos que tienen influencia en la columna de sedimento. Mee L.D. Comunicación personal.



El comportamiento de FeS<sub>2</sub> y del carbono orgánico nos permite concluir que el contenido de carbono orgánico controla significativamente el grado de reducción del sistema.

#### Interacción sedimento-organismo

Las adaptaciones fisiológicas de un grupo taxonómico ayudan a determinar su presencia y ausencia en ciertos ambientes (Kinne, 1967), por ejemplo: en regiones de salinidad variable tales como estuarios o habitats con bajo contenido de oxígeno. Los requerimientos respiratorios en particular y las adaptaciones de comportamiento desarrollado para satisfacer esos requerimientos son importantes, ya que influyen en el transporte de fluidos en el sedimento.

Las categorías ecológicas de bentos marinos, usualmente están basadas en asociaciones funcionales entre el animal y el hábitat sedimentario, y dos de las características más importantes usadas para separar a los invertebrados marinos bénticos son el tipo de alimentación y el modo de vida. Juntas, estas dos características describen cualitativamente la habilidad que tienen los organismos para procesar o redistribuir partículas de sedimento y de fluidos. Si los organismos de un grupo de alimentación dado y de un modo de vida se distribuyeran al azar en el tiempo y el espacio, no sería útil para interpretar procesos sedimentarios en términos de la presencia o ausencia de organismos que pertenecen a diferentes categorías ecológicas. De hecho, estos grupos no se distribuyen aleatoriamente en espacio (Sanders, 1956, 1958; Turpaeva, 1957; Rhoads and Young, 1970; Jumars and Fauchald, 1977) o tiempo (Eagle, 1973; Myers, 1973; Mc Call, 1976). Por lo anterior, es importante saber cómo difieren los grupos bentónicos separados ecológicamente o en cuanto a su distribución y en su interacción con sedimentos con el fin de interpretar mejor y generalizar mediciones de procesos diagenéticos relacionados con sus actividades.

La redistribución de partículas sedimentarias por macrobentos es uno de los mayores procesos biogénicos que ocurren dentro o sobre el depósito sedimentario. Los miembros de los diferentes grupos tróficos pueden construir madrigueras permanentes o temporales. Los

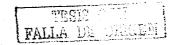


túneles biogénicos se pueden extender varios metros en el sedimento, como el caso de algunos crustáceos, pero más generalmente son restringidos a los primeros 100 cm. Estas estructuras juegan papeles importantes en el transporte de partículas: (1) una vez vacantes actúan como conductos de una sola vía hacia las profundidades para las partículas de la superficie que caen dentro y (2) usualmente se forman de material sedimentario altamente seleccionado y representa una agregación de partículas. Las madrigueras pueden ser altamente especializados y geométricamente intrincados dependiendo del modo de alimentación del organismo y el hábitat en las que ocurren (Seilacher, 1964; Röder, 1971).

La formación de estructuras biogénicas en los sedimentos marinos ha sido estudiada intensamente por los biólogos marinos y geólogos por más de cien años (e.g.: Dalvell, 1853: Watson, 1890; Mc Intosh, 1894; Richter, 1927; Schäfer, 1962).

Los alojamientos de animales sedentarios bentónicos han sido de interés particular puesto que usualmente muestran características del tipo de alimentación, hábito de vida, ecología general y hábitat de los organismos. Estas estructuras (madrigueras) se reconocen fácilmente en los sedimentos como discontinuidades físicas, su asociación común con discontinuidades de color en el sedimento suave o su preservación como sitios de mineralización (e.g.: Simpson, 1957: Frey, 1970; Hein and Griggs, 1972) también sugieren una discontinuidad química. La posibilidad de que las madrigueras sean sitios de procesos geoquímicos no necesariamente representativos de condiciones en el sedimento circundante o en el agua superficial es de importancia considerable, tanto por el entendimiento del hábitat y adaptaciones del organismo así como por el entendimiento de los ciclos geoquímicos y procesos diagenéticos en los sedimentos.

Constantemente, los organismos bentónicos epifaunicos forman huellas, pistas y depresiones pequeñas en la superficie del sedimento. La infauna móvil tales como poliquetos o gastrópodos pueden formar continuamente nuevas madrigueras moviéndose horizontalmente por el sedimento. El efecto de este movimiento en ausencia de otra redistribución de partículas es homogenizar el sedimento después de un largo período de excavación (Schäfer, 1962).



Además, del transporte de partículas, los organismos bentónicos también transportan fluídos dentro y fuera de los sedimentos. Lo anterior puede ocurrir de dos maneras: (1) transporte regular de agua relacionada a la actividad tales como respiración, liberación de desechos disueltos o alimentación; o (2) a través del intercambio irregular de agua con sedimento durante la actividad de excavación de los organismos.

La influencia del potencial del transporte del fluído biogénico en aguas de sedimento poroso depende fuertemente de la taxonomía y del hábito de vida de los organismos. El hábito de vida y el grupo trófico afectan el intercambio potencial del fluído a través de los organismos infáunicos, organismos móviles, sedentarios y los organismos alimentadores.

### Reacciones diagenéticas relacionadas con actividad biológica

Las reacciones diagenéticas con la descomposición de materia orgánica determinan el pH y las propiedades de oxidación-reducción en los ambientes de estudio, ya que los elementos que componen la fracción principal de la materia orgánica: C, H, N, O, P, S y el complejo aceptor de electrones:  $N_w S_x C_y O_z$  (donde  $w = 0, 1, 2; x = 0, 1, 2; y = 0, 1, ...; z = 2, 3, 4, ...) están involucrados en la mayoría de las reacciones. Los aceptores de electrones más estudiados, en sedimentos marinos son <math>O_2$ ,  $NO_3$ ,  $SO_4^{2-}$  y  $CO_2$ , y son usados cuando están disponibles, de preferencia en ese orden por sus correspondientes poblaciones de microorganismos (Richards, 1965b; Thorstenson, 1970; Claypool and Kaplan, 1974).

En los sedimentos en estudio se tienen elementos muy sensibles a las condiciones de oxidación-reducción, reactivos a los productos de descomposición y que están involucrados en los procesos diagenéticos; ejemplos Fe, Mn, Ca y Mg. Muchas de las reacciones químicas de C, H, N, O, P, S, Ca, Mg, Fe y Mn están directamente acopladas por reacciones biogénicas que se llevan a cabo en sedimentos marinos y otros ambientes (Berner, 1976). Por las propiedades especiales de óxidos hidratados de Fe y Mn al reaccionar con otros elementos y compuestos (Jenne, 1968) y el papel de estos óxidos controlando la química marina y estuarina (Goldberg, 1954; Kharkar, et al., 1968; Turekian, 1976), la química de muchos



metales adicionales se acopla con estos procesos. Berner (1976) fué capaz de dar ejemplos solamente de unas pocas reacciones estrictamente abiogénicas que ocurren en el sedimento:

- 1. disolución sílica.
- 2. disolución de CaCO<sub>3</sub>,
- 3. reacciones de agua de mar-silicato (arcilla, feldespato, vidrio).
- 4. recristalización.

De ahí que debido al control biogénico del pH, CO<sub>2</sub> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el control de los recubrimientos superficiales en las partículas (orgánicas, Fe<sub>3</sub> O, (H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> , Mn<sub>3</sub> O<sub>3</sub> (H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> ) y el control biogénico del transporte del fluido-partícula solamente la recristalización se puede decir que es estrictamente abiogénico en el sedimento superficial:

La dependencia de la diagénesis en procesos biogénicos implica que la diagénesis química cerca de la interfase sedimento-agua está sujeta a todas las complejidades de las interacciones biológicas. La reactividad relativa de los elementos mencionados hacen posible usarlos para poder probar las reacciones complejas que se llevan a cabo en la zona de la interface sedimento-agua o en el área de actividad biogénica.

Uno de los indicadores importantes a las reacciones diagenéticas en la química del agua intersticial son las mediciones tanto en la fase líquida como sólida de la columna sedimentaria; mediciones químicas que da evidencia de la cantidad real, independientemente de las velocidades relativas de reacción y de los posibles mecanismos de transporte que se llevan a cabo para interpretar el significado de las concentraciones establecidas. Es importante mencionar que las mediciones de velocidad de transporte no se pueden hacer en la misma muestra junto con las mediciones de velocidad de reacción por lo que deben ser inferidas en experimentos separados.

La geometría de la distribución de las reacciones con respecto al agua superficial y los mecanismos de transporte disponibles también determinan la importancia de las reacciones que se llevan a cabo en un ambiente sedimentario con ciertas condiciones en el agua



superficial. Con estos factores, los enfoques que deberían darse para continuar estos estudios serían

- 1. Examinar la distribución tridimensional de reacciones diagenéticas en los ambientes sedimentarios.
- Medir directamente la magnitud y distribución de las velocidades de descomposición de la materia orgánica en el sedimento cerca de la superficie.
- Establecer escalas de tiempo para reacciones en fase sólida y transporte de partículas usando rastreadores radioactivos naturales (series <sup>238</sup>U <sup>232</sup>Th).
- 4. Medir directamente la interacción del fondo con el agua superficial por reacciones de partículas y flujo de material usando rastreadores radioactivos y mediciones directas de flujo.
- 5. Examinar compuestos previamente seleccionados del sistema diagenético cerca de la interfase bajo condiciones específicas, por ejemplo: Un estudio comparativo en el laboratorio de los cambios de la química del sedimento, producido por una especie de macrobentos que pueda representar un ambiente ecológico.
- Utilizar el ciclo natural de temperatura y mortalidad de animales para así muestrear sedimentos durante los períodos cuando las influencias biogénicas son bajas comparadas con los períodos de actividad más alta.
- 7. Utilizar las diferencias en la distribución espacial en ciertos organismos, adaptaciones y ambientes de depósito, para estudiar los efectos de los diferentes agrupamientos de organismos y ambientes en diagénesis sedimentaria.
- 8. Una integración de estas mediciones en una descripción preliminar pero constante de la influencia de macro-organismos en la diagénesis química de sedimentos, química del agua superficial y la relación ecológica entre organismos bentónicos y pelágicos.

# Procesos diagenéticos en la interfase sedimento-agua

La diagénesis química cerca de la superficie del sedimento marino se asocia directa o indirectamente con la descomposición de la materia orgánica. El tipo y velocidad de muchas

reacciones diagenéticas cerca de la zona de la superficie son por ende influenciadas por las actividades de los organismos que viven ahí y utilizan el material orgánico disponible. El metabolismo microbiano determina los límites en el tipo de compuestos disponibles para las reacciones y las propiedades de óxido-reducción del sedimento.

Los límites en la velocidad y alcance de las reacciones se fijan por los factores externos o internos al sedimento. Los factores externos incluyen la entrega de partículas y despojos orgánicos a la superficie y dependen del ambiente de depósito. Los factores internos incluyen transporte y provisión de aceptores de electrones o materia orgánica en un ambiente de depósito. Cerca de la interfase sedimento-agua, el macrobentos tiene gran importancia ya que determina en forma directa o indirecta el transporte de material dentro del sedimento o entre el sedimento y el agua suprayacente y también influye en la distribución, velocidad metabólica y abundancia de microorganismos.

Por lo anterior, se puede esperar que el macrobentos afecta grandemente los procesos diagenéticos en las zonas cercanas a la superficie y a las reacciones en el agua superficial inmediata. En la ecología bentónica particularmente en sedimentos blandos de lagunas costeras hay que considerar una serie de parámetros para representar o delimitar características de las comunidades, estos parámetros son las variables hidrológicas (temperatura, salinidad, y turbidez), y las biológicas tales como contenido de materia orgánica, impacto por contaminantes, presión de depredación y las interacciones entre las poblaciones y los diferentes grupos tróficos que habitan las capas superficiales de la columna sedimentaria.

Wolff (1983) al hacer la revisión del conocimiento de estos aspectos ha anotado las limitaciones metodológicas y de análisis en el estudio a corto plazo del bentos de lagunas costeras por las amplias variaciones en las condiciones ambientales y del sedimento, principalmente en lagunas con una hidrodinámica tal que la tasa de renovación del agua es elevada. Tal es el caso de las tres lagunas de estudio.



Otro factor de importancia que influye en la distribución y abundancia espacial y temporal de organismos bentónicos lo representa la profundidad, corriente, turbidez y contenido de materia orgánica en el sedimento.

En general, podemos resumir que estos factores están bien caracterizados en los tres sistemas y junto con la temperatura y salinidad generan condiciones estables en ciertas áreas donde estas no son tan variables y áreas inestables donde el efecto de desecación, corrientes, acumulación de detritus seguido con un aumento de producción de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y bajos valores de oxígeno propician un ambiente poco habitable para los organismos.

Lobos presenta condiciones estables donde el gran aporte de materia orgánica de los manglares, su profundidad y la distribución del sedimento propician una diversa y abundante fauna no solo bentónica sino nectónica y quizás planetónica, algo parecido sucede con Guásimas, donde el factor principal que puede influir en la distribución y abundancia del bentos es la periodicidad y las amplias variaciones de marea, lo mismo sucede en Algodones.

El análisis de las comunidades bentónicas de las lagunas costeras se basa en relacionar diferentes aspectos físicos y biológicos con la distribución espacial y temporal de los componentes faunisticos para delimitar agrupaciones similares o que comparten biotopos dependiendo de las diferentes estrategias de vida de cada grupo.

La fauna tanto de la macro como de la meiofauna en las tres lagunas es la caracterización de sedimentos blandos según las apreciaciones de Sanders (1968) en estudios en diferentes áreas geográficas del mundo, sin embargo existen diferencias en cuanto a la diversidad y densidad de los grupos en áreas tropicales y templadas (Peterson, 1975).

En relación a la abundancia y diversidad de especies, tenemos que los anfipodos representan el grupo más diverso seguido de los moluscos, esta relación se apega a las observaciones registradas por Maurer y Vargas (1984) y Edwards (1978), donde en orden de abundancia y diversidad están los poliquetos, anfipodos, moluscos y por último grupos poco frecuentes.

Este patrón puede variar según las condiciones del sedimento, materia orgánica y depredación en áreas específicas dentro del sistema, pero en promedio este es el más frecuente para zonas tropicales y subtropicales (Warwick y Ruswahyuni, 1987).

La distribución de la fauna bentónica dentro de Lobos se caracteriza por presentar organismos filtradores (bivalvos, brachiopodos) y poco alimentadores de depósito (anfipodos y sipuncúlidos) en estaciones que presentan sedimento limoso (fino-grueso), se encontró más variedad de organismos tanto filtradores, alimentadores de depósito, omnívoros y carnívoros (poliquetos, anfipodos, decápodos y gasterópodos).

En Guásimas encontramos una distribución más homogénea de sedimentos donde observamos que las estaciones menos protegidas presentan sedimentos predominantemente arenosos (finamuy fina) y áreas protegidas o sin elevada hidrodinámica producida por corrientes presentan sedimentos preferentemente limosos (fino-grueso). La fauna de Guásimas es muy heterogênea pero se observa una predominancia por estación de organismos alimentadores de depósito (anfipodos y gasterópodos), seguido de filtradores (bivalvos).

Los sedimentos de Algodones son limosos-arenosos sin marcarse una variación gradual en un gradiente por efectos de las características de la laguna (tamaño, baja profundidad etc.), la fauna cercana a la boca del canal se caracteriza por presentar organismos filtradores y el resto de la zona interna con sedimentos limoso-finos presentan organismos alimentadores de depósito.

Las afinidades de la fauna bentónica macroinfaunal al tipo de sedimento en lagunas costeras del Golfo ha sido descrito por Barnard (1969) para anfipodos, Salazar-Vallejo (1987) para poliquetos y De la O y Villalba (1984) para bivalvos, quienes registran resultados similares, sin embargo existen otras relaciones más complejas entre el sedimento y los organismos aún por conocer, tales como la importancia del tamaño de grano, el efecto de contaminantes, cantidad de humedad, porosidad y elementos biogeoquímicos que juegan un papel importante en los patrones de dispersión y reclutamiento (Mann, 1982).

Es importante señalar que las comunidades infaunales presentan variaciones espacio-temporal promovidas por el gran número de factores. Los diferentes tipos de muestreo, separación y análisis de resultados han producido innumerables métodos y teorías para delimitar y caracterizar comunidades bentónicas y sus organizaciones, en nuestro caso nos avocaremos a tomar las sugerencias propuestas por Calderón (1987) para definir comunidades considerando densidad, diversidad y afinidades al sedimento.

En Lobos, el organismo con mayor abundancia fue un sipuncúlido, pero su ocurrencia fue baja por lo que podemos considerar que la comunidad de esta laguna está caracterizada por poliquetos y anfipodos (*Lembos tellina*), Guásimas en cambio presentó una comunidad caracterizada por anfipodos principalmente *Lembos corophium* y Algodones por bivalvos y anfipodos (*Tellina corophium*).

Existen indicadores que permiten identificar diferencias o similitudes entre estaciones o áreas específicas, estas nos dan a conocer las afinidades que poseen entre si. Las lagunas de Lobos y Algodones presentan una mayor afinidad faunistica que con respecto a Guásimas. La obtención del índice de Jaccard muestra un valor muy alto (1.20) de similitud entre Lobos y Algodones que entre estas dos con Guásimas (IJ=0.42).

Para comprender mejor la organización y estructura de las comunidades bentónicas de los sistemas costeros en estudio deben también considerarse aspectos bióticos relevantes que en los últimos años se ha comprobado que poseen papeles importantes dentro de la estructuración de las comunidades en sedimentos blandos. Estos aspectos tales como las interacciones entre larvas reclutas y adultos, depredación por organismos epibénticos y otros propios de la infauna, competencia, efectos por disturbios, son actualmente estudiados y están proporcionando datos interesantes para completar el limitado conocimiento de las poblaciones y comunidades bentónicas.



## De acuerdo a un estudio realizado por Ortega-Romero, (1988) se concluye que:

- Estas lagunas costeras son ambientes hidrológicamente dinámicos y presentan variaciones significativas en sus condiciones ecológicas.
- La fauna bentónica se compone de grupos típicos de sedimentos blandos dividida por su tamaño en macroinfauna y meiofauna.
- El grupo mayor representado tanto en abundancia como en número de especies es el anélidos políquetos y crustáceos antipodos;
- Los valores mayores tanto de densidad y diversidad se presentan en la laguna costera Lobos seguido por las lagunas costeras de Guásimas y Algodones.
- La distribución de los grupos faunísticos está relacionada con el tipo de sedimento donde los organismos filtroalimentadores fueron frecuentes en sedimentos arenosos mientras que los alimentadores de depósito lo fueron en sustratos limosos.
- La comunidad de la laguna costera Lobos fué caracterizada por las especies de bivalvos
   Lembos tellina, mientras que en Guásimas lo fué Lembos corophium y en Algodones lo fué
   Tellina corophium.
- No existe evidencia de cambios significativos en los sistemas con respecto a especies indicadoras.



## CONCLUSIONES

En los sistemas de éstas lagunas costeras, el contenido de materia orgánica es más reactivo (k alto) que el encontrado en otros sedimentos costeros. Esta alta reactividad podría deberse al origen o fuente de la materia orgánica (manglares, fitoplancton asociado con actividades agrícolas, etc.).

La reducción de sulfato disminuye con la profundidad por cerca de un orden de magnitud, y la materia orgánica en las tres lagunas costeras es producida *in situ* en la superficie de los sedimentos por algas y además por origen externo.

Un factor ignorado por las ecuaciones diagenéticas es el fenómeno de la mezcla de sedimentos por organismos bentónicos, en este estudio se introdujo la variable bioturbación tomando en cuenta solamente la profundidad de mezcla biológica.

Los modelos diagenéticos en estado estable basados en la descomposición de la materia orgánica modelada por cinética de primer orden, produce resultados que son internamente consistentes y que predicen coeficientes de difusión razonablemente previsibles, comparables a los encontrados en otras regiones costeras.

Con el reconocimiento de la importancia de la bioturbación en el modelo de la diagénesis del azufre, a pesar de su complejidad provee fundamentos para la construcción de nuevos modelos. La incorporación de la bioturbación y oxidación de sulfuro en futuros modelos incrementará grandemente su complejidad, ya que deberá asociar ecuaciones diferenciales de segundo orden para la fase sólida de constituyentes y la introducción de oxígeno disuelto como una variable del modelo.

Aunque el modelo de distribución del SO<sub>4</sub><sup>2</sup>- disuelto en sedimentos presentado en éste estudio es simplificado e idealizado, proporciona puntos de partida para futuras investigaciones en lagunas costeras en México.



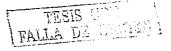
Las tasas de sedimentación que se obtuvieron a través del modelo, nos demuestran que el modelo se comportó bien para sedimentos costeros del Golfo de California. Las tasas de sedimentación nos expresan que la materia orgánica presente en estas lagunas costeras, es más reactiva (menos refractaria) y las tasas de descomposición correspondiente son más rápidas, ésto provoca zonas de reducción de NO<sub>3</sub><sup>2-</sup> y producción de Fe<sup>+2</sup> y Mn<sup>+2</sup>, por otro lado, la zona de sulfato-reducción, está presente y poco profunda. Además, se puede considerar a la materia orgánica como muy reactiva y con tiempos de descomposición altos. En estas áreas costeras del Golfo de California, las condiciones anóxicas en los primeros centímetros de profundidad del sedimento son muy frecuentes, de ahí la reactividad y metabolización de la materia orgánica presente en estas lagunas costeras.

Además, la vida media del carbono orgánico oxidable en los nueve núcleos nos demuestra que la materia orgánica, se preserva más tiempo cuando el potencial de oxido-reducción es más negativo.

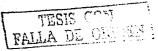
En los sedimentos anóxicos de las lagunas costeras en estudio, la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, así como los óxidos de Fe y Mn son importantes como aceptores de electrones en la oxidación microbiana de la materia orgánica.

En las tres lagunas costeras se realizó un inventario de azufre total en el cual el azufre elemental está incluido en FeS<sub>2</sub>. Se determinó que el comportamiento de azufre total fué muy similar en dos lagunas costeras (Lobos y Algodones), probablemente debido a las condiciones específicas de aporte de materia orgánica, debido a las zonas de manglar existentes y a los aportes de efluentes en cada sistema hidrológico.

La mayor velocidad de formación de pirita se dá en los primeros centímetros de la columna sedimentaria, donde se tienen las mayores reservas de  $SO_4^{2-}$ , las cuales en cierta medida pueden limitar la formación de ésta. Además, en los primeros centímetros de bioturbación, se depositan compuestos derivados de la biomasa externa, es decir compuestos con alta calidad de  $\alpha$  carbono; también el proceso de difusión influye en que la capa de mezcla se tenga una



mayor formación de pirita, ya que ahí existe mayor difusión que en la capa inferior a la bioturbada; aunado a lo anterior se puede decir que la formación de azufre elemental en la capa superficial, es también de suma importancia ya que esta especie química de azufre es un intermediario trascendente en la formación de pirita.

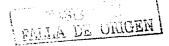


## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALLER, R.C. 1978. The effect of animal-sediment interactions on geochemical processes near the sediment water interface. In: Wiley, M.L. (Ed.), Estuarine Interactions, Academic Press, New York.
- ALLER, R.C., 1983. The importance of the diffusive permebility of animal burrow linings in determining marine sediment chemistry. J. Mar. Res. 41:299-322.
- ALLER, R.C., J.E. Mackin and R.T. Cox. 1986. Diagenesis of Fe and S in Amazon inner shelf muds: apparent dominance of Fe reduction and implications for the genesis of iron stones. Continental shelf research 6: 263-289.
- ALLER, R.C. and P.D. Rude. 1988. Complete oxidation of solid phase sulfides by manganese and bacteria in anoxic marine sediments. Geochim. cosmochim. Acta 52, 751-765.
- ALLER, R.C. and N.E. Blair. 1996. Sulfur diagenesis and burial on the Amazon shelf: Major control by physical sedimentation processes. Geo-Marine Letters, 16: 3-10.
- ALPERIN, M.J. and W.S. Reeburgh. 1985. Inhibition experiments on anaerobic methane oxidation. Applied and Environmental Microbiology, 50, 940-945.
- ALVAREZ, Jr. 1969. Apuntes de la Clase de Geología, Paleogeografía y Tectónica de México, U.N.A.M.
- ANDERSON, L.G., P.O.J. Hall, A. Iverfeldt, M.M. Rutgers Van Der Loeff, B. Sundby and S.F.G. Westerlund. 1986. Benthic respiration measured by total carbonate production. Limnol. and Oceanogr., 31, 319-329.
- ARMSTRONG, W. 1978. Root aeration in the wetland condition. In: Hokk, D.D., Crawford, R.M.M. (Eds.), Plant life in Anaerobic Environments. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI, pp. 269-297.
- ARMSTRONG, W. 1982. Waterlogged soil. In: Etherington, J.R. (Eds.), Environment and Plant Ecology, Chap. 10. Wiley, Chichester, pp. 290-372.
- ARREOLA, L., J.A. 1994. Determinación y diagnóstico de hábitats en Bahía de Lobos, Sonora, con fines de manejo. Res. V Congreso de la Asoc. de Inv. del Mar de Cortés, A.C.



- BACCINI, P. 1985. Phosphate interactions at the sediment-water interface. In: Stumm, (Ed.), Chemical Processes in Lakes, Wiley, New York.
- BALZER, W., F. Pollenhne and H. Erlenkeuser. 1986. Cycling of organic carbon in a coastal marine system. In: Sediments and water interactions, P.G. Sly, editor. Springer-Verlag, New York, pp. 325-330.
- BARNARD, J.L. 1969. A biological survey of the Bahía de los Angeles, B.C. Mex. IV. The Gammaridean Amphipoda, Trans. San Diego Soc. Nat. Hist., 15(13): 175-228.
- BATTEN, R.W. 1962. The sediments of the Beaufort in Let Area, North Carolina South. Geology, 3, 101-205.
- BAULD, J. 1986. Transformation of sulphur species by phototrophic and chemotrophic microbes. In: Bernhard, M.
- BECKWITH, R.S., Tiller, K.G., Suwadji, E. 1975. The effects of flooding on the availability of trace metals to rice in soils of differing organic matter status, In: Nocholas, D.J.D., Egan, A.R. (Eds.), Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems. Academic Press, New York, pp. 135-149.
- BERNER, R.A. 1963. Electrode studies of hydrogen sulfide in marine sediments. Geochim. et Cosmochim. Acta, 27: 563-565.
- BERNER, R.A. 1964a. Distribution and diagenesis of sulfur in some sediments from the Gulf of California. Mar. Geol., I, 117-140.
- BERNER, R.A. 1964b. An idealized model of dissolved sulfate distribution in recent sediments. Geochim. et Cosmochim. Acta, 28, 1497-1503.
- BERNER, R.A., et al., 1970. Carbonate alkalinity in the pore waters of anoxic marine sediments. Limnol. Oceanogr., 15, 544-549.
- BERNER, R.A. 1970a. Nature, Lond. 227-700.
- BERNER, R.A. 1970b. Sedimentary pyrite formation. Amer. Jour. Sci. 268, 1-23.
- BERNER, R.A. 1971. Worldwide sulfur pollution of rivers. J. Geophys. Res., 76, 6597-6600.
- BERNER, R.A. 1972. Sulfate reduction, pyrite formation, and the oceanic sulfur budget. In: Nobel Symposium 20; The Changing Chemistry of the Oceans. D. Dyrssen and D. Jagner (Eds.) Almquist and Wiksell, Stockholm, Wiley Interscience Division, 347-361.



- BERNER, R.A. 1974. Kinetic models for the early diagenesis of nitrogen, sulfur, phosphorus and silicon in anoxic marine sediments. In: The Sea, vol. 5, E.D. Goldberg (Ed.), Wiley Interscience, N.Y., 427-450.
- BERNER, R.A. 1976. The benthic boundary layer from the viewpoint of a geochemist. In: I.N. McCave (ed.), The Benthic Boundary Layer. Plenum Publ. Corp., N.Y. 33-55.
- BERNER, R.A. 1978b. Rate control of mineral dissolution under earth surface conditions. Am. Jour. Sci., v. 278 pp. 1235-1252.
- BERNER, R.A. 1980a. Early diagenesis "A Theoretical Approach" H.D. Holland (Ed.), Princeton Univ. Press, N.J., 241 p.
- BERNER, R.A. 1980b. A rate model for organic matter descomposition during bacterial sulfate reduction in marine sediments, in Biogeochemistry of Organic Matter at the Sediment-Water Interface. Comm. Natl. Recherché Scientifique (France) Report.
- BERNER, R.A. 1984. Sedimentary pyrite formation: An update. Geochim. Cosmochim. Acta, 48, 605-615.
- BERNER, R.A. 1985. Sulfate reduction, organic matter descomposition and pyrite formation. Philos. Trans. R. Soc. London, A 315, 25-38.
- BERNER, R.A., 1989. Biogeochemical cycles of carbon and sulfur and their effect on atmospheric oxygen over Phanerozoic time. Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 75: 97-112.
- BERNER, R.A. and R. Raiswell. 1983. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 855-862.
- BERNER, R.A. and R. Raiswell. 1984. C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. Geology, 12, 365-368.
- BIGGS, R.B. 1967. The sediments of Chesapeake Bay. In: Estuaries. Ed. by G.H. Lauff. Washington, D.C. Publ. Am. Ass. Advmt. Sci., 83, 239-260.
- BIRCH, G., Mc Conchie, D., Taylor, S., Davies-Mc Conchie, F. 1996. The Significance of Hydrous Material in Estuarine Contaminant Transfer. International Symposium on Environmental Chemestry and Toxicology, p. 0144.
- BLOCH, J., Krouse, H.R. 1992. Sulfide diagenesis and sedimentation in the Albian Harmon Member, western Canada. Journal of Sedimentary Petrology 62, 235-249.

- BOESEN, C. and D. Postma. 1988. Pyrite formation in anoxic environments of the Baltic. Am.

  J. Sci., 288, 575-603.
- BORDOVSKIY, O.K. 1965. Transformation of organic matter in bottom sediments and its early diagenesis. Marine Geology, 3, 83-114.
- BOSTROM, K. 1967. Some pH controlling redox reactions in natural waters, in equilibrium concepts in natural water systems, Am. Chem. Soc., Wash., D.C., 286-311.
- BOUDREAU, B.P. and J.T. Westrich. 1984. The dependence of bacterial sulfate reduction on sulfate concentration in marine sediments. Geochimica et Cosmochimica. Acta, vol. 48 pp. 2503-2516.
- BOWKER, A.H. and G.J. Lieberman. 1981. Estadística para Ingenieros. Prentice-Hall.
- BOYLE, W.C. and P.M. Berthouex. 1974. Biological wastewater treatment model building fits and misfits. Biotech. Bioeng., 16: 1139-1159.
- BRAFIELD. A.E. 1964. Oxygen in sandy shores. J. Anim. Ecol., 33, 97-116.
- BRAY, J.T. et al. 1973. Phosphate in interstitial waters of anoxic sediments: Oxidation effects during sampling procedure. Science, 180: 1362-1364.
- BREZONIK, P. and others. 1993. Experimental acidification of Little Rock Lake, Wisconsin: Chemical and biological changes over the pH range 6.1 to 4.7. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 1101-1121.
- BROECKER, W.S. 1971. A kinetic model for the chemical composition of seawater, Quaternary Res., 1, 188-207.
- BURDIGE, D.J. and K.H. Nealson. 1986. Chemical and microbiological studies of sulfide mediated manganese reduction. Geomicrobiol. J. 4: 361-387.
- CADEE, G.C. 1980. Reappaisal of the production and import of organic carbon in the Western Wadden Sea. Nertherlands Journal of Sea Research 14, 305-322.
- CADEE, G.C. 1986. Recurrent and changing seasonal patterns in phytoplankton of the western most inlet of the Dutch Wadden Sea from 1969 to 1985. Marine Biology 93, 281-289.
- CALDERON, A. L.E., 1987. Reporte final del proyecto del investigación "Contribución al conocimiento de tres sistemas costeros de Sonora, detección de recursos y perspectivas de aprovechamiento". CONACyT Ref. PCECBNA-022402. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora.

FALLE

- CALDERON A., L.E. y J. Campoy. 1993. Bahía de las Guásimas, Estero Los Algodones y Bahía de Lobos, Sonora. En: Salazar V., S.I. y N.E. González (Eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México. 411-419.CONABIO Y CIQRO, Mexico. 865 p.
- CALVERT, S.E. and R.E. Karlin. 1991. Relationship between sulphur, organic carbon and iron in the modern sediments of the Black Sea. Geochim. Cosmochim. Acta 55, 2486-2490.
- CANFIELD, D.E. 1989a. Sulfate reduction and oxic respiration in marine sediments: Implications for organic carbon preservation in euxinic environments. Deep Sea Research 36: 121-138.
- CANFIELD, D.E. 1989b. Reactive iron in marine sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 53, 619-632.
- CANFIELD, D.E. and R. Raiswell. 1991. Pyrite formation and fossil preservation.In Taphonomy: Releasing the data locked in the fossil record (ed. P.A. Allison and D.E.G. Briggs), Chap. 7, pp. 337-387. Plenum Press.
- CANFIELD D.E., R. Raiswell and S. Bottrell. 1992. The reactivity of sedimentary iron minerals toward sulfide. American Journal of Science, 292: 659-683.
- CARRANZA, E.A., et al. 1975. Unidades Morfotectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. U.N.A.M. México, 2(1) p. 81-88.
- CASPERS, H. 1957. The Black Sea and Sea of Azov, in Treatise on Marine Ecology and Paleocology (J.W. Hedgpeth, Ed.). Vol. 1, 801 p.; Memoir 67; Geol. Soc. America, New York.
- CHANTON, J.P., Martens, C.S. and Goldhaber, M.B. 1987. Biogeochemical cycling in an organic-rich coastal marine basin. 7. Sulfur mass balance, oxygen uptake, and sulfide retention. Geochim. Cosmochim. Acta, 51: 1187-1199.
- CHANTON, J.P., Martens, C.S., Kelly, C.A. 1989. Gas transport from methane-saturated, tidal freshwater and wetland sediments, Limnology and Oceanography 34, 807-819.
- CLARK, M.W., Mc Conchie, D., Saenger, P., Pillsworth, M. 1997. Hidrological controls on copper, cadmium, lead and zinc concentrations in an anthropogenically polluted mangrove ecosystem Wynnum, Brisbane. Journal of Costal Research 13, 1050-1058.



- CLARK, M.W., Mc Conchie, D., Lewis D.W., y Saenger, P. 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in Avicennia dominated mangrove sediments: a geochemical model. Chemical Geology 149: 147-171.
- CLAYPOOL, G.E. and I.R. Kaplan. 1974. The origen and distribution of methane in marine sediments. In: I.R. Kaplan (ed.), Natural Gases in Marine Sediments. Plenum Press., N.W. 99-139.
- CORNWELL, J.C., Morse, J.W. 1987. The characterization of iron sulfide minerals in anoxic marine sediments. Marine Chemistry 22, 193-206.
- CRILL, P.M. and Martens, C.S. 1987. Biogechemical cycling in an organic-rich marine basin.

  6. Temporal and spatial variations in sulfate reduction rates. Geochim. Cosmochim.

  Acta: 51: 1175-1186.
- DABES, J.N., Finn, R.K. and Wilke, C.R. 1963. Equations of substrate-limited growth: The case for Blackman Kinetics. Biotech. Bioeng., 15, 1159-1177.
- DALYELL, J.G. 1853. The Powers of the Creator Displayed in the Creation. Vol. 2. London, John Van Woorst. 327 pp.
- DE LA O, M. y A. Villalba, 1984. Estudio sedimentológico interior de la laguna costera La Cruz, B. Kino, Son. y su relación con la distribución de organismos bentónicos, Tesis del Depto. de Geología, UNISON, 99 p.
- DENT, D. 1986. Acid sulphate soils: A baseline for research and development. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- DOYLE, R.W. 1968. Identification and solubility of iron sulfide in anaerobic lake sediment. Amer. J. Sci. 260:980-994.
- DRAPER, N.R. and H. Smith. 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons (Ed.). 709 p.
- EAGLE, R.A. 1973. Benthic studies in the south east of Liverpool Bay. Estuarine and Coastal Mar. Sci. 1, 285-299.
- EATON, A. 1979. The impact of anoxia on Mn fluxes in the Chesapeak Bay. Geochim. Cosmochim. Acta, 43: 429-432.
- EDENBORN, H.M., Silverberg N., Mucci A. and Sundby B. 1987. Sulfate reduction in deep coastal marine sediments. Mar. Chem. 21: 329-345.

- EDWARDS, R.C., 1978. Ecology of a coastal lagonn complex in Mexico. Est. Coast. Mar. Sci., 5(1) 75-92.
- ELDERFIELD, H., N. Luedtke, R.J. McCaffrey and M. Bender. 1981a. Benthic flux studies in Narragansett Bay. Am. J. Sci., 281, 768-787.
- ELDERFIELD, H., R.J. McCaffrey, N. Luedtke, M. Bender and V.M. Truesdale. 1981b.

  Chemical diagenesis in Narragansett Bay sediments. Am. J. Sci., 281, 1021-1055.
- EMERSON, S., R. Jahnke, M. Bender, P. Froelich, G. Klinkhammer, C. Bowser and G. Setlock, 1980. Early diagenesis in sediments from the eastern equatorial Pacific, I Pore water nutrient and carbonate results. Earth Planet. Sci. Lett., 49, 57-80.
- EMERSON, S., Jahnke, R., Heggie, D. 1984. Sediment-water exchange in shallow water estuarine sediments, Journal of Marine Research 42, 709-730.
- EMERSON, S. and Hedges, J.I. 1988. Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. Paleoccanography, 3: 621-634.
- EMERY, K.O. and S.C. Rittenberg. 1952. Early diagenesis of California basin sediments in relation to origen of oil. Bull. Amer. Petr. Geol., 36, 735-806.
- EVANGELOU, V.P. 1995. Pyrite Oxidation and its Control. CRC Press, Boca Raton, Fl, 293 pp.
- FEIJTEL, T.C., R.D. DeLaune and W.H. Patrick. 1988. Seasonal pore water dynamics in marshes of Barataria Basin, Louisiana. Soil Sci. Soc. Am. J., 32, 59-67.
- FENCHEL, T.M. and R.J. Rield. 1970. The sulfide system: a new biotic community underheath the oxidized layer of marine sand bottoms. Marine Biology, 7(63): 255-268.
- FENCHEL, T.M. and T.H. Blackburn. 1979. Bacteria and mineral cycling. Academic Press.
- FERDELMAN, T.G., Church, T.M. and Luther, G.W. 1991. Sulfur enrichment of humic substances in a Delaware salt march sediment core. Geochim. Cosmochim. Acta, 55: 979-988.
- FÖRSTNER, U. 1989. Contaminated Sediments: Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 21. Springer, Berlin, 157 pp.
- FOSSING, H. 1990. Sulfate reduction in shelf sediments in the upwelling region off central Peru. Continental Shelf Res., 10: 355-367.



- FOSSING, H. and Jörgensen, B.B. 1990. Oxidation and reduction of radiolabeled inorganic sulfur compounds in an estuarine sediment, Kysing Fjord, Denmark, Geochim. Cosmochim. Acta, 54: 2731-2742.
- FREY, R.W. 1970. Trace fossils of Fort Hays Limestone Member of Niobrara Chalk (Upper Cretaceous), west-central Kansas. Kansas Univ. Paleont. Contr., Art. 53, 41 pp.
- FRANT, M.S. and J.W. Ross. 1970. Alkaline pulping liquor analysis. Tappi, 53(9), 1953.
- GAGNON C. et al. 1995. Anomalous accumulation of acid-volatile sulphides (AVS) in a coastal marine sediment, Saguenay Fjord, Canada. Geochim. et Cosmochim., Acta, 59, 13: 2663-2675.
- GARCIA, E. 1973. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Koppen.

  Universidad Nacional Autónoma de México. Inst. Biol. An., 41(1): 243.
- GARDNER, L.R. and I. Lerche. 1987. Simulation of sulfate-dependent sulfate reduction using Monod Kinetic, Mathematical geology, vol. 19, No. 3.
- GARRELS, R.M. and F.T. MacKenzie. 1971. Evolution of the sedimentary rocks. W.W. Norton & Co., New York, 397 p.
- GAUDETTE, H.E., et al. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. J. Sediment, Petrol., 44(1): 249-253.
- GIBLIN, A.E. and R.W. Howarth. 1984. Porewater evidence for the dynamic sedimentary iron cycle in salt marshes. Limnol. Oceanogr., 29, 47-63.
- GLEASON, M.L. and Zieman, J.C. 1981. Influence of tidal inundation on internal oxygen supply of Spartina alterniflora and Spartina paten. Estuarine, Coastal Shelf Science 13, 47-57.
- GOLDBERG, E.D. 1954. Marine geochemistry. I. Chemical scavengers of the sec. J. Geol. 62, 249-265.
- GOLDHABER, M.B. 1974. Equilibrium dynamic aspects of marine geochemistry of sulfur, Ph. D. Dissertation, University of California, Los Angeles.
- GOLDHABER, M.B. and I.R. Kaplan. 1974. The sulfur cycle. In: Goldhaber ED. (Ed.), The sea, 5. New York; Wiley. 569-635.
- GOLDHABER, M.B. and I.R. Kaplan. 1980. Mechanisms of sulfur incorporation and isotope fractionation during early diagenesis in sediments of the Gulf of California. Mar. Chem., 9: 95-143.

FALLA

- GOLDTERMAN, H.L., et al. 1978. Methods for Physical & Chemical Analysis of Freshwater. IBP. 2nd Ed. Handbook 8, 213 p.
- HARMSEN, et al., 1954. Observations on the formation and oxidation of pyrite in the soil. Plant and Soil., V. 324-348.
- HARTMAN, V.M. and H. Nielsen. 1969. "ā<sup>34</sup> S werte in rezenten meeressedimenten und ihre deutung am beispiel einiger sediment profile aus der west lichen ostsee". Sonderchruck aus der Geologischen Rundschau Band, 58, 621-655.
- HEATH, G.R., T.C. Moore and J.P. Dauphin. 1976. Organic carbon in deep-sea sediments. In:

  N.R. Andersen and A. Malahoff (Editors), the fate of fossil fuel CO<sub>2</sub> in the oceans.

  Plenum Press, New York, N.Y., 605-625.
- HEIN, J.R. and G.B. Griggs. 1972. Distribution and scanning electron microscope (SEM) observations of authigenic pyrite from a Pacific deep-sea cove. Deep Sea Res. 19, 133-138.
- HENRICHS, S.M. and W.S. Reeburgh. 1987. Anaerobic mineralization of marine sediment organic matter: rates and the role of anaerobic processes in the oceanic carbon economy. Geomicrobiol. J., 5, 191-237.
- HENRICHS, S.M. and J.W. Farrington. 1987. Early diagenesis of amino acids and organic matter in two coastal marine sediments. Geochimica et Cosmochimica, Acta 51, 1-15.
- HINES, M.E. and G.E. Jones. 1985. Microbial biogeochemistry and bioturbation in the sediments of Great Bay, New Hampshire. Estuarine and Coastal Shelf Science, 20, 729-742.
- HOLSER, W.T. and I.R. Kaplan. 1966. Isotope geochemistry of sedimentary sulfates, Chem. Geol., 1, 93-135.
- HOWARTH, R.W. 1978. A rapid and precise method for determining sulfate in seawater, estuarine waters and sediment pore-water. Limnol. Oceanogr., 23, 1066-1069.
- HOWARTH, R.W. 1979. Pyrite: Its rapid formation in a salt marsh and its importance in ecosystem matabolism. Science, 203, 49-51.
- HOWARTH, R.W. and J.M. Teal. 1979. Sulfate reduction in a New England Salt Marsh. Limnol. Oceanogr., 24(6), 999-1013.

TALLA DE COMESTO

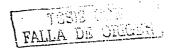
- HUANG, C.P., Hsieh, Y.S., Park, S.W., Corapcioglu, M.O., Bowers, A.R., Elliott, H.A. 1987. Chemical interactions between heavy metal ions and hydrous solids. In: Patterson, J.W., Passino, R. (Eds.), Metal Speciation, Separation, and Recovery, Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. 439-465.
- HUERTA-DIAZ, M.A. and Morse, J.W. 1992. Pyritization of trace metals in anoxic marine sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 56: 2681-2701.
- HUTCHINGS, P., Saenger, P. 1987. Ecology of Mangroves. Univ. of Queensland Press. INEGI, 1991.—
- JACKSON, M.L. 1958. Soil. Chemical Analysis, Prentice Hall Pub. Co., Englewood Cliffs, N.J., 498 p.
- JAHNKE, R.A. 1990. Early diagenesis and recycling of biogenic debris at the sea floor, Santa Monica Basin, California. J. Mar. Res., 48: 413-436.
- JENNE, E.A. 1968. Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn concentrations in soil and water: significant role of hydrous Mn and Fe oxides. Trace Inorganics in Water, Adv. in Chem. Series 73, 337-387.
- JENSEN, H.S. and F.O. Anderson. 1987. Sulfate reduction in a coastal lake during summer stratification. Archiv für Hydrobiologia, 108, 465-481.
- JÖRGENSEN, B.B. and T. Fenchel. 1974. The sulfur cycle of a Marine Sediment Model System. Mar. Biol., 24, 189-201.
- JÖRGENSEN, B.B. et al. 1979. Microbial transformation of sulfur compounds in a stratified lake (solar lake, Sinai). Limnol. oceanogr. 24(5) 799-822.
- JÖRGENSEN, B.B. 1982. Ecology of the bacteria of the sulphur cycle with special reference to anoxic-oxic interface environments. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Biological Sciences. 298, 543-561.
- JÖRGENSEN, B.B. 1983. The microbial sulfur cycle. In: Krumbein W.E. (Ed.), Microbial Geochemistry. Boston: Blackwell, 91-124.
- JÖRGENSEN, B.B. and J. Sorensen. 1985. Seasonal cycles of O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> reduction in estuarine sediments: The significance of an NO<sub>3</sub><sup>-</sup> reduction maximum in spring. Mar. Ecol. Prog. Ser., 24, 65-74.



- JÖRGENSEN, B.B. and F. Bak. 1990. Pathways and microbiology of thiosulfate transformations and sulfate reduction in a marine sediment (Kattegat, Denmark). Appl. Environ. Microbiol. 57: 847-856.
- JUMARS, P.A. and K. Fauchald, 1977. Between-community contrasts in successful polychaete feeding strategies. In: B.C. Coull (ed.), Ecology of Marine Benthos, Belle W. Baruch Library in Marine Science No. 6, U.S. Carolina Press, Columbia.
- KAPLAN, I.R. et al., 1960. Sulphur isotopic variations in nature. 8. Aplication to some biogeochemical problems. N.Z.J. Science, 3, 338-361.
- KAPLAN, I.R., K.O. Emery and S.C. Rittenberg. 1963. The distribution and isotopic abundance of sulfur in recent marine sediments of Southern California. Geochim. et Cosmochim. Acta, 27, 297-331.
- KAPLAN, I.R. and S.C. Rittenberg. 1964. Microbiological fractionation of sulfur isotopes, J. Gen. Microbiol., 34, 195-212.
- KEMP, A.L.W. and H.G. Thode. 1968. The mechanism of the bacterial reduction of sulphate and of sulphite from isotope fractionation studies. Geochim. et Cosmochim. Acta, 32, 71-91.
- KHARKAR, D.P., K.K. Turekian and K.K. Bertine. 1968. Stream supply of dissolved silver, molybdenum, antiminy, selenium, chromium, cobalt, rubidium and cesium to the oceans. Geochim. Cosmochim. Acta 32, 285-298.
- KINNE, O. 1967. Physiology of estuarine organisms with special reference to salinity and temperature: general aspects. In: G.H. Lauff (ed.), Estuaries, AAAS Conference on Estuaries, Jekyll Island, 1964. 525-540.
- KOLTHOFF, I.M. and E.B. Sandell. 1952. Textbook of Quantitative Inorganic Analysis. Third Edition. MacMillan Co. N.Y. 759 p.
- KRUMBLEIN, R.R. and R.M. Garrels. 1952. Origin and classification of chemical sediments interms of pH and oxidation-reduction potencials. J. Geol., 60. 1-33.
- LANKFORD, R.R. 1977. Coastal Lagoons of Mexico Their Origen and Classification. In: Estuarine Process. R. Wiley (Ed.), Academic Press N.Y., 2, 182.
- LASAGA, A.C. and H.D. Holland. 1976. Mathematical aspects of non-steady-state diagenesis. Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 40, 257-266.

- LERMAN, A. 1975. Maintenance of steady state in oceanic sediments. Am. Jour. Sci., v. 275, pp. 609-635.
- LEVENTHAL, J.S. 1983. An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black-Sea sediments as indicators of environments of deposition. Geochim. Cosmochim. Acta. 47, 133-137.
- LEVENTHAL, J.S. 1995. Carbon-sulfur plots to show diagenetic and epigenetic sulfidation in sediments. Geochim. et Cosmochim., 59, 6: 1207-1211.
- LIN, S. and Morse, J.W. 1991. Sulfate reduction and iron sulfide mineral formation in Gulf of Mexico anoxic sediments. Amer. J. Sci. 291: 55-89.
- LOVE, L.G. 1967. Early diagenetic iron sulfide in recent sediments of the wash (England).
  Sedimentology, 9. 327-352.
- LU, J.C.S. and Chen, K.Y. 1977. Migration of trace metals in interfaces of seawater and polluted surficial sediments. Environmental Science and Technology 11, 174-182.
- LYONS, T.W. and R.A. Berner. 1992. Carbon-sulfur-iron systematics of the uppermost deepwater sediments of the Black Sea. In Geochemistry of Metalliferous Black Shales (ed. P.A. Meyers et al.); Chem. Geol. 99, 1-27.
- MANN, K.H., 1982. Sediment communities. In: Ecology of Coastal waters: A systems approach. Ch. 7. vol. 8, Blackwell Sc. Publ.
- MANAHAN, S.E. 1990. Environmental Chemestry. Lewis Publishers, Boston, 612 pp.
- MANNING, P.G., Williams, J.D.H., Charton, M.N., Ash, L.A., Birchall, T. 1979. Mössbauer spectral studies of the diagenesis of iron in a sulphide-rich sediment core. Nature 280, 134-136.
- MANHEIM, F.T. 1970. The diffusion of ion in unconsolidated sediments. Earth Planet. Sci. Letters, 9, 307-309.
- MANHEIM, F.T. and F.L. Sayles. 1974. Composition and origen of interstitial waters of marine sediments based on deep sea drill cores. In: The Sea, 5 (Ed. Goldberg), Wiley-Interscience, N.Y., 527-568.
- MARTENS, C.S. and R.A. Berner. 1974. Methane production in the interstitial waters of sulfate depleted marine sediments, Science, 85: 1167-1169.

- MARTENS, C.S. and Klump, J.V. 1984. Biogeochemical cycling in an organic-rich coastal marine basin. 4. An organic carbon budget for sediments dominated by sulfate reduction and methanogenesis. Geochim. Cosmochim. Acta, 48: 1987-2004.
- MARTENS, C.S., Haddad, R.I. and Chanton, J.P. 1992. Organic matter accumulation, remineralization and burial in an anoxic coastal sediment. In: J.K. Whelan and J.W. Farrington (Editors), Organic Matter: Productivity, Accumulation and Preservation in Recent and Ancient Sediments, Columbia University Press, New York.
- MARTIN, W.R. and M.L. Bender. 1988. The variability of benthic flux fluxes and sedimentary remineralization ratio in response to seasonally variable organic carbon rates in the deep sea: A modeling study. Am. J. Sci., 288, 561-574.
- MARTIN, W.R. and Sayles, F.L. 1992. Seafloor diagenetic fluxes. In: W.W. Hay and T.M. Usselman (Editors), Global Surficial Geofluxes. National Academy of Science Press, Washington, D.C.
- MAURER, D. and J.A. Vargas, 1984. Diversity of soft bottom benthos in a tropical estuary: Gulf of Nicoya, Costa Rica. Marine Biology, 81:97-106.
- McCALL, P.L. 1976. The influence of disturbance on community patterns and adaptive strategies of the infaunal benthos of central Long Island Sound. Ph.D. Dissertation, Yale University, New Haven, Connecticut, 198 pp.
- McDUFF, R.E. and R.A. Ellis. 1979. Determining diffusion coefficients in marine sediments: a laboratory study of the validity of resistivity techniques, Am. J. Sci., 279, 666-675.
- McINTOSH, W.C. 1894. On certain homes or tubes formed by annelids. Ann. Mag. Nat. Hist. ser. VI, 13, 1-18.
- MIDDELBURG, J.J. 1989. A simple rate model for organic descomposition in marine sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 53, 1577-1581.
- MIDDELBURG, J.J. 1991. Organic carbon, sulphur and iron in recent semi-euxinic sediments of Kan Bay, Indonesia. Geochim. Cosmochim. Acta 55, 815-828.
- MIDGLEY, D. and K. Torrance. 1978. Potentiometric water analysis. Wiley-Interscience, N.Y., 409 p.
- MONOD, J. 1949. The growth of bacterial cultures. Am. Rev. Microbial, 3: 371-394.



- MORGAN, J.J. 1967. Applications and limitations of chemical thermodynamics to natural water systems, in equilibrium concepts in natural water systems. Am. Chem. Soc., Wash., D.C., 1-29.
- MORGAN, J.J. 1987. General affinity concepts, equilibria and kinetics in aqueous metal chemistry. In: Patterson, J.W. and Pussino, R. (Eds.), Metals, Speciation, Separation and Recovery. Lewis Publishers Inc., Chelsea (Michigan) pp. 27-63.
- MORRIS, A.W., Bale, A.J., Howland, R.J.M. 1982. The dynamics of estuarine manganese cycling. Estuarine, Coastal and Shelf Science 14, 175-192.
- MORSE, J.W. and R.A. Berner. 1995. What determines sedimentary C/S ratios. Geochim. et Cosmochim. Acta 59: 1073-1077.
- MÜLLER, P.J. and E. Suess. 1979. Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans. I Organic carbon preservation. Deep Sea Res., 26a, 1347-1362.
- MÜLLER, P.J. and Mangini. 1980. Organic carbon decomposition rates in sediments of the Pacific manganese nodule belt dated by 230Th and 231Pa. Earth, Planet Sci. Lett. 51: 94-114.
- MURRAY, J. 1975a. The interaction of metal oxides of manganese dioxide-solution interface, Geochim. et Cosmochim. Acta 39, 515-520.
- MURRAY, J. 1975b. The interaction of cobalt with hydrous manganese dioxide. Geochim. et Cosmochim. Acta 39, 635-648.
- MYERS, A.C., 1973. Sediment reworking, tube building, and burrowing in a shallow subtidal marine bottom community: rates and effects, Ph.D. Dissertation, U. of Rhode Island, Kingston, R.I. 117 pp.
- OENEMA, O. 1988. Early diagenesis in recent fine-grained sediments in the Eastern Scheldt. Ph. D. thesis, Univ. Ultrecht, 222 p.
- OENEMA, O. 1990. Sulfate reduction in fine-grained sediments in the Eastern Scheldt, Southwest Netherlands. Biogeochem. 9, 53-74.
- ORLAND, H.P. (Editor), 1965. Standar methods for the examination of water and wastewater, 12th Ed. American Public Heath Assoc., Am. Water Works Assoc., and water pollution control Fed., N.Y., 769 p.



- ORTEGA-ROMERO, P. 1983. Estudio de la Ocurrencia y Diagénesis Reciente de Minerales de Azufre en una Laguna Costera Tropical. Tesis de Maestría. I.C.M y L. de U.A.C.P. y P. del C.C.H., U.N.A.M.
- ORTEGA-ROMERO, P. 1988. Reporte del proyecto de investigación "Estudio biogeoquímico de tres sistemas lagunares del Estado de Sonora". CONACyT Ref. PCECBNA-022259.

  Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora.
- OSTROUMOV, E.M. 1953. Different forms of combined sulfur in the sediments of the Black Sea, Trud. Inst. Okeanol., Akad. Nauk S.S.S.R., 7, 70-90.
- OSTROUMOV, E.A. and L.C. Fomina. 1959. On the forms of sulphur compounds in the bottom deposits of the Marianas Trench. Dolk. Akad. Nauk. S.S.S.R., 126, 382-384.
- OSTROUMOV, E.A., I.I. Volkov and L.C., Fomina. 1961. Distribution of sulfur compounds in bottom sediments of the Black Sea. Trudy Inst. Okeanol., Akad. Nauk. S.S.S.R., V.50, pp. 93-129.
- PAEZ-OSUNA, F. 1988. Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortés. Tesis de Doctorado, I.C.M. y L. de U.A.C.P. y P. del C.C.H., U.N.A.M. 391 p.
- PAEZ-OSUNA, F. and J.I. Osuna-Lopez. 1990. The initial gradient of sulfate in Gulf of California sediments. Journal of sedimentary petrology, vol. 60 No.6. November, p. 212-217.
- PALACAS, J.G., V.E. Swanson and A.H. Love. 1968. Organic geochemistry of recent sediments in the Choctawhatchee Bay area, Florida; A preliminary Report. U.S.G.S. Prof. Paper 600-C, C97-C106.
- PEDERSON, T.F., Waters, R.D. and MacDonald, R.W. 1989. On the natural enrichment of cadmium and molybdenum in the sediments of Ucluelet Inlet, British Columbia. Science of the Total Environmental 79, 125-139.
- PERRY, K.A. and Pedersen, T.F. 1993. Sulfur speciation and pyrite formation in meromictic ex-fjords. Geochem. Cosmochem. Acta, 57: 4405-4418.
- PETERSON, C.H., 1975. Stability of species and of community for the benthos of two lagoons. Ecology, 56 (4): 958-965.
- PETTIJOHN, F.J. 1949. Sedimentary rocks. Harper and Roe, 718 p.

- PRESLEY, B.J. and I.R. Kaplan. 1968. Changes in disolved sulfato, calcium and carbonate from interstitial water of near-shore sediments. Geochim. et Cosmochim. Acta 32, 1037-1048
- PRICE, N.B. 1976. Chemical diagenesis in sediments. In: J.P. Riley and R. Chester (Editors), Chemical Oceanography, Vol. 6 2nd.ed. Academic Press, London, 1-58.
- PYTKOWICZ, R.M. 1967. Carbonate cycle and the buffer mechanism of recent oceans, Geochim. et Cosmochim. Acta, 31, 63-73.
- RAISWELL, R. and R.A. Berner. 1985. Pyrite formation in euxinic and semi-euxinic sediments. Am. J. Sci., 285, 710-724.
- RAISWELL, R., F. Buckley, R.A. Berner and T.F. Anderson.1988. Degree of pyritization of iron as a paleoenvironmental indicator of botton-water oxygenation. Journal of Sedimentary Petrology 58: 812-819.
- REEBURG, W.S. 1969. Observations of gases in Chesapeake Bay sediments. Limnol and Oceanogr., 14, 368-375.
- REIMERS, C.E. and E. Suess. 1983. Spatial and temporal patterns of organic matters accumulation on the Peru continental margin. pp. 311-346.
- RHOADS, D.C. and D.K. Young. 1970. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. J. Mar. Res. 28, 150-178.
- RICHARDS, F.A. 1965a. Anoxic basins and fjords, in Chemical Oceanography (J.P. Riley, G. Skirrow, Eds.), Vol. 1, Academic press, New York, 611-645.
- RICHARDS, F.A. 1965b. Chemical observations in some anoxic, sulfide-bearing basin and fjords. The Proc. of the 2nd. Intnl. Water Poll. Res. Conf., Tokyo; Pergamon Press.
- RICHARDS, F.A. and R.F. Vaccaro. 1956. The Cariaco Trench, an anaerobic basin in the Caribbean Sea, Deep-Sea Res., 3, 214-228.
- RICHTER, R. 1927. Die fossilien Fährten und Bauten der Würmer, ein Überblick über ihre biologischen Groundformen und deren geologische Bedeutung. Poläont. Zeitschr. 9, 193-240.
- RICKARD, D.T. 1973. Sedimentary iron sulphide formation. In: Dorst, H. (Ed.), Acid Sulphate Soils. ILRI, Wagening, Netherlands, pp. 28-65.
- RICKARD, D.T. 1975. Kinetics and mechanism of pyrita formation at low temperatures. Am. Jour. Sci., vol. 274, 636-652.

- RITTENBERG, S.C., K.O. Emery and W.L. Orr. 1955. Regeneration of nutrients in sediments of marine basins. Deep. Sea Res., 3, 23-45.
- ROBBINS, J.A. 1978. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. Elsevier North-Holland Biomedical Press.
- ROBERTS, W.M. et al., 1969. The chemistry of pyrite formation in aqueous solution and its relation to the depositional environment. Miner. Deposita. 4, 18-29.
- RÖDER, H. 1971. Gangsysteme von *Paraonis fulgens* Levisen 1883 (Polychaeta) in ökolgischer, ethologischer und aktuopaläontologischer Sicht. Senckenbergiana maritima 3, 3-51.
- RUTGERS VAN DER LOEFF, M.M. 1980. Time variation in interstitial nutrient concentrations at an exposed subtidal station in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 14, 123-143.
- SAENGER, P., McConchie, D.M., Clark, M.W. 1991. Mangrove forests as a buffer between anthropogenically polluted areas and the sea. 1990 Workshop on Coastal Zone Management, pp. 280-300.
- SALAZAR-VALLEJO, S. 1987. Contribución al conocimiento de los poliquetos (Annelida, Polychaeta) de Bahía Concepción B.C.S., Mex., Tesis de Maestría, CICESE, 311 p.
- SALOMONS, W. 1985. Sediments and water quality. Environmental Technology Letters 6, 315-368.
- SALOMONS, W., De Rooij, N.M., Kkerdiijk, H., Bril, J. 1987. Sediments as a source for contaminants?. Hydrobiology 149, 13-30.
- SANDERS, H.L. 1956. Oceanography of Long Island Sound, 1952-1954. X. The biology of marine bottom communities. Bull. Bingham Oceanogr. Coll. 15, 345-414.
- SANDERS, H.L. 1958. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships. Limnol. Oceanogr. 3, 245-258.
- SANDERS, H.L. 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. American Naturalist, 102 (925): 243-282.
- SCHÄFER, W. 1962. Aktuo-Paläontologie. Frankfurt am Main, Waldemar Kramer, 666 p. (Ecology and paleoecology of marine environments, G.Y. Craig (ed.), I. Oertel (Trans.), Univ. of Chicago Press, 1972, 568 p.)

- SCHOLLENBERGER, C.J. 1928. Arapid approximate method for determining oil organic matter. Soil. Sci., 24: 65-68.
- SEILACHER, A. 1964. Biogenic sedimentary structures. In: J. Imbire and N. Newell (eds.). Approaches to Palcoccology. Wiley, N.Y., 296-316.
- SHEU, D.D. and B.J. Presley. 1986. Variations of calcium carbonate, organic carbon and iron sulfide in anoxic sediments from the ORCA basin, Gulf of México. Mar. Geol., 70, 103-118.
- SHISHKINA, O.V. 1964. Chemical composition of pore solutions in oceanic sediments. Geochemistry International, 3, 522-528.
- SHOONEN M.A.A. and H.L. Barnes. 1991. Reactions forming pyrite and marcasite from solution: II Via FeS precursors below 100°C. Geochim. Cosmochim. Acta 55, 1505-1514.
- SIEVER, R. 1968. Sedimentological consequences of a steady state ocean-atmosphere, Sedimentology, 11, 5-29.
- SILLEN, L.G. 1967. Master variables and activity scales, in equilibrium concepts in natural water systems. Am. Chem. Soc. Publ., Wash., D.C., 344 p.
- SIMPSON, S. 1957. On the trace-fossil Chondrites. Geol. Soc. London, Quart. Jour. 112, 475-499.
- SKYRING, G.W. 1987. Sulfate reduction in coastal ecosystems. Geomicrobiol. J., 5: 295-374.
- SÖRENSEN, J. and B.B. Jorgensen. 1987. Early diagenesis in sediments from Danish coastal water: microbial activity and Mn-Fe-S geochemistry. Geochim. Cosmochim. Acta, 51, 1583-1590.
- SOROKIN, Y.I. 1962. Experimental investigation of bacterial sulfate reduction in the Black Sea using S<sup>35</sup>. Mikrobiologiya, 31, 402-410.
- SPOSITO, G. and Page, A.L. 1985. Cycling of metal ions in the soil environmental. In Sigel, H. (Ed.). Metal Ions in Biological Systems. Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 287-332.
- STROM, K.M. 1939. Land-Locked waters and the deposition of black muds, in Recent Marine Sediments (P.D. Trask, Ed.) Sp. Publ. No. 4. Soc. Econ. Paleont. Mineral., Tulsa, Okla., 356-372.

- SWEENEY, R.E. and I.R. Kaplan. 1980. Pyrite formation in marine chemistry, Mar. Chem., 9, 165-174.
- THODE-ANDERSEN, S. and Jörgensen, B.B. 1989. Sulfate reduction and the formation of S<sup>35</sup>-labelled FeS, FeS<sub>2</sub> and S in coastal marine sediments. Limnol. Oceanogr. 34, 793-806.
- THORSTENSON, D.C. 1970. Equilibrium distribution of small organic molecules in natural waters, Geochim. et Cosmochim., 34, 745-770.
- TUREKIAN, K.K. 1976. The fate of metals in estuaries. In: C.B. Officer and P.J. Hart (eds.), Estuaries, geophysics and the environment. Geophysics Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- TURPAEVA, E.D., 1957. Food interrelationships of dominant species in marine benthic biococnoses. In: N.N. Nikitin (ed.), Trans. Inst. Okeanol., Mar. Biol. Acad. Sci. USSR Press 20, 137-148. (Published in U.S. by Am. Inst. Biol. Sci., Washington, D.C.).
- URBAN, N.R. et al. 1994. Sulfate reduction and diffusion in sediments of Little Rock Lake, Wisconsin. Limnology & Oceanogr., 39(4): 797-815.
- VAN DAM, D., Pons, L.J., 1973. Some micromorphological observations on pyrite reaction products related to its oxidation. In: Dorst, H. (Ed.). Acid Sulphate Soils. ILRI, Wagening, Netherlands, pp. 169-196.
- VAN STRAATEN, L.M. 1954. Composition and structure of recent sediment of the Netherland. Leidse Geol. Medel, 19, 1-110.
- VASQUEZ DEL C., D. 1987. Estudio del comportamiento y distribución de metales pesados y su relación con algunos parámetros fisico-químicos en la columna sedimentaria de tres sistemas costeros del Estado de Sonora. Tesis de Licenciatura en Químico-Biólogo. Depto. de Cs. Ouím. Biól. de la Universidad de Sonora. Generación 1979-1985.
- VASQUEZ DEL C., D., A. VILLALBA A. y P. ORTEGA R., 1991. Variación granulométrica en la columna sedimentaria de bahía de Lobos, Sonora. Res. III Congr. de la Asoc. de Investigadores del Mar de Cortés, A. C.
- VILLALBA, A.A., P. Ortega y M. de la O. 1989. Evaluación geoquímica en la fase sedimentaria de ecosistemas costeros del Estado de Sonora, México. Ciencias Marinas, Acta Ocean. del Pacifico. INOCAR, Ecuador. 5(1):97-105.

- VOGEL, A.I. 1978. Textbook of Quantitative Inorganic Analysis. Fourth Edition. Longman, London, 925 p.
- VOLKOV, I.R. 1961. Iron sulphides, their interdependence and transformation in the Black Sea bottom sediments. Tr. Inst. Okeanol., Akad., Nank. S.S.S.R., 50, 68-92.
- WADA, H., Seisuwan, B. 1986. The process of pyrite formation in mangrove soils. In: Dorst, H. (Ed.). Acid Sulphate Soils. ILRI, Wagening, Netherlands, pp. 24-37.
- WALKLEY, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degthareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method, Soil. Sci., 27, 27-38.
- WARWICK, R.M. and Ruswahyuni. 1987. Comparative study of the structure of some tropical and temperature marine soft-bottom macrobenthic communities. Marine Biology, 95, 641-649.
- WATSON, A.T. 1890. The tube-building habits of *Terebella littoralis*. J.R. Micr. Soc. 1890, 685-689.
- WHITFIELD, M. 1969. Eh as an operational parameter in estuarine studies. Limnol. Oceanogr., 14, 547-558.
- WOLFF, W.J., 1983. Estuarine benthos. In: Ketchum, B.H. (ed.) Estuaries and enclosed seas, Elsevier Publ. Amsterdam, p. 151-182.
- WYRTKI, K. 1962. The oxygen minima in relation to ocean circulation, Deep-Sea Res., 9, 11-28.



## APÉNDICE

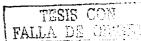


TABLA 3. Valores de la distribución de pH, %H<sub>2</sub>O, %cabono orgánico oxidable y porosidad de los sedimentos en la laguna costera Lobos.

abla 3A	(Núcleo	1)			τ	abla 3C	(Núcleo	3)		
Sección	pH -	H,O	Car.Org	Porosidad		Sección	pH.	н,о	Car.Org.	Porosidad
(cm)		(%)	(%)	· (+)	1.0	(cm)		(%)	(%)	( <b>¢</b> )
0-1	7.50	72.51	7.41	0.8683		0-2	7.57	65.74	12.64	0.8275
-3	7.48	72,05	7.31	0.8656		2-3	7.61	67.11	13.55	0.8360
7	.51	71.42	7.55	0.8620		3-4	7.48	66.15	10.81	0.8300
	7.25	72.39	7.50	0.8676	1. 7.0	4-5	7.65	69.32	12.46	0.8495
	7.39	71.50	7.41	0.8624		5-6	7.43	65.77	11.81	0.8276
	7.39 7.24	71.50 70.38	7.30	0.8559	1 170	6-7	7.52	66.84	11.15	0.8344
- 7	7.15	69.50	6.50 6.87	0.8506		7-8	7.48	69.05	10.46	0.8479
7.08		69.53	6.87	0.8508		8-9 10-11	7.55 7.44	67.81 73.40	10.78 10.15	0.8404
- 3	7.20	68.50	6.31	0,8446		12-13	7.46	72.11	11.26	0.8733
7.31		65.36	6.45	0.8250		13-14	7.55	69.18	9.40	0.8660
	7.19 7.31	64.83	6.05	0.8216		14-16	7.50	68.77	8.75	0.8487 0.8462
	7.31	66.51 63.28	5.49 5.50	0.8323		16-18	7.52	67.15	10.18	0.8363
	7.19	62.31	5.50 5.65	0.8116 0.8031		18-20	7.60	64.21	10.46	0.8176
	7.19	63.45	5.65 5.31			18-20 20-22	7.60 7.48	64.21 62.74	10.41	0.8176 0.8080
	7.24 7.15	63.45	5.31 5.25	0.8127 0.8122		22-24	7.42	66.35	9.40	0.8313
	7.15	63.28	5.26	0.8122		22-24 24-26	7.45	62.11	8.57	0.8038
	7.19	60.08	5.18	0.7900		26-28	7.45	58.43	8.86	0.7784
	7.19	57.66	5.09	0.7900		26-28 28-30	7.32	59.39	9.10	0.7852
	7.07	57.15	4.68	0.7692		30-32	7.51	58.17	6.74	0.7766
	7.05	57.13	4.70	0.7724		32-34	7.46	56.73	5.43	0.7662
	7.17	55.31	4.51	0.7557		34-36	7.44	54.06	5.30	0.7463
	7.20	53.22	4.48	0.7398		36-38	7.38	54.76	6.18	0.7516
	7.01	52.28	4.15	0.7398 0.7325		38-40	7.36	50.30	6.47	0.7167
	7.08	50.15	4.32	0.7155		40-42	7.18	53.29	5.95	0.7404
ı	7.07	51.08	4.38	0.7155 0.7230		42-44	7.24	55.60	5.30	0.7579
	7.07	50.08	4.25	0.7149		44-46	7.40	53.86	3.16	0.7447
						45-48 48-50	7.35 7.33	54.11	4.56 4.77	0.7466 0.7174
38	(Núcleo	2)				50-52	7.40 7.36 7.30	54.11 50.39 49.17	3.44	0.7074
	7.68	69.35	5 C1	0.8407		52-54 54-56	7.30	53.18 56.18	3.11 3.81	0.7395 0.7621
			5.61	0.8497		56-58	7.28	57.43	3.64	0.7621 0.7713
	7.71 7.68	69.60	5.94	0.8512		58-60	7.25	54.63	3.70	0.7506
	7.41	69.20 70.32	5.86	0.8488		60-62	7.33	56,40	3.75	0.7506 0.7638
	7.49	69.21	5.78 5.71	0.8555 0.8489		62-64	7.33	55.31	4.62	0.7557
ż	.53	67.10	5.73	0.8360		64-66	7.28	54.48	4.36	0.7495
	7.36	68.74	5.69	0.8460		66-68 68-70	7.36	55.11	4.75	0.7542
	7.42	68.56	5.77	0.8450		68-70	7.35	56.49	4.66	0.7644
	6.87	65.41	5.43	0.8254					A second of	e a facilities of
	7.25	66.33	5.21	0.8312					100	- Market
	7.30	67.82	5.31	0.8406					2000	Audi Sandania
	7.24	67.82	5.48	0.8404					100	Sec. 2 1 44
	7.07	68,46	5.15	0.8443					en litera	· • · · · · · · ·
9	7.15	67.35	4.81	0.8375						
	6.80	67.40	4.90	0.8378						
	6.50	64.15	4.35	0.8173						
	7.35	64.20 63.18	4.33	0.8176						
7	7.10 6.87	63.18	4.33	0.8109						
2	7.40	62,48	4.01	0.8088						
	7.19 7.19	64.15	4.19	0.8173						
	7.19	62.09 59.24	4.27 4.25	0.8037						
	7.10	56.39	4.25	0.7841 0.7637						
3	6.77	55.99	4.09	0.7607						
	6.89	54.55	4.18	0.7500						
	7.10	53.42	4.15	0.7414						
	7.10 7.23	53,18	4.16	0.7395						
	7.11	53.79	4.01	0.7442						
0	7.14	52.05	3.75	0.7307						
53	7.15	52.11	3.81	0.7312 0.7231					1	ATTE CITY
=										
56	7.11	51.09	3.65	0.7231					1	Prom
3-56 3-59 3-62	7.11 7.19 6.70	51.09 51.18 52.43	3.65 3.62 3.61	0.7231 0.7238 0.7337					FAL	LA DE

TESIS CON FALLA DE CANT E

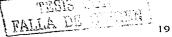


TABLA 4. Valores de la distribución de pH, %H<sub>2</sub>O, %cabono orgánico oxidable y porosidad de los sedimentos en la laguna costera Algodones.

	(Núcleo	4)			т	abia 4B (f	Núcleo 5	3)		
Sección	ρΗ	" н,о	Car.Org	Porosidad	•	Sección	pΗ	, H,O	Car Org	Porosida
(cm)	<b>F</b>	(%)	(%)	(+)		(cm)		(%)	(%)	(4)
0-2	7.62	74.64	9.64	0.8803		0-2	7.48	72.44	7.64	0.8679
2-4	7.74	75.24	9.41	0.8836		2-4	7.52	73.56	9.15	0.8742
4-6	7.53	73.89	10.22	0.8761		4-6	7.35		8.26	0.8783
6-8	7,59	76.15	10.40	0.8886		6-8	7.61	72.16	8.66	0.8663
8-10	7.64	73.24	9.17	0.8724		8-10	7.60	70.44	8.40	0.8562
10-12	7.36	75.56	9.64	0.8854		10-12	7.46	75.19	8.57	0.8834
12-14	7.48	71.16	8.39	0.8605		12-14 14-16	7.38 7.42	73.44	7.55 7.78	0.8736 0.8553
14-16	7.45	69.24	8.66	0.8491		16-18	7.35	73.44	7.91	0.6173
16-18 18-20	7,53 7.61	73.76 66.81	8.71 8.41	0.8754 0.8342		18-20	7.20	70.89	7.33	0.8589
20-22	7.61	65.40	8.07	0.8253		20-22	7.31	69.14	7.30	0.8485
22-24	7.44	68.22	9.15	0.8429		22-24	7.28	69.88	7.44	0.8529
24-26	7.55	66.41	8.33	0.8317		24-26	7.21	72.48	7.35	0.8681
26-28	7.48	63.28	7.46	0.8116		26-28 28-30	7.48	70.55	7.78	0.8569
28-30	7.49	65.11	7.26	0.8234		30-32	7.39 7.40	66.16 67.44	7.61 7.15	0.8301 0.8381
30-32 32-34	7.61 7.55	63.77 62.19	7.41	0.8148		32-34	7.33	68.25	7.15	0.5524
34-36	7.55 7.66	64.64	7.66 6.48	0.8043 0.8204		34-36	7.37	67.35	7.39	0.8375
36-38	7.42	61.11	6.48	0.7970		36-40	7.31	64.88	7.40	0.8220
38-40	7.32	67.26	6.66	0.8370		40-42	7.33	69.40	7.28	0.8500
40-42	7.39	60.86	5.14	0.7953		42-44	7.33	65.35	7.24	0.8250
42-44	7.37	64.23	4.96	0.8178		44-46 46-48	7.27 7.28	66.80	6.41	0.8341
44-46	7.35	63.11	4.91	0.8104		48-50	7.20	67.32 63.18	6.18 6.77	0.8373 0.8109
46-48 48-50	7.46 7.49	62.77 60.46	5.33 4.67	0.8082		50-52	7.27	62.76	6.84	0.8081
50-52	7.50	61.22	4.40	0.7926 0.7978		52-54	7.38	63.90	6.34	0.8156
52-54	7.31	59.46	4.77	0.7857		54-56	7.36	72.11	6.57	0.8660
54-56	7.34	59.84	4.55	0.7883		56-58	7.27	65.09	5.38	0.8233
56-58	7.31	60,33	4.41	0.7917		58-60	7.25	60.84	5.94	0.7952
58-60	7.43	61.81	4.30	0.8018		60-62 62-64	7.32 7.19	61.55 60.45	6.08 6,11	0.8000
60-62 62-64	7.30 7.38	58.33 56.39	4.64 4.26	0.7777 0.7637		64-66	7.19	61.33	5.71	0.7925
64-66	7.33	57.40	4.26	0.7637		66-68	7.26	62.77	5.24	0.8082
			5.21	0.7689		68-70	7.20	63.43	5.20	0.8126
66-68	7.24	57.11	5.21			00-70				
68-70	7.42	56.47	4.94	0.7643		00-70				
	7.42 7.35 7.40				7	abla 4C (		6)		
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7			6) 67.31	5.68	0.8373
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	abla 4C ( 0-2 2-4	Núcleo ( 7.64 7.21	67.31 67.48	5.74	0.8383
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	0-2 2-4 4-6	7.64 7.21 7.53	67.31 67.48 68.10	5.74 5.35	0.8383 0.8421
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	0-2 2-4 4-6 6-8	7.64 7.21 7.53 7.61	67.31 67.48 68.10 65.18	5.74 5.35 5.09	0.8239
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29	5.74 5.35 5.09 5.33	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.40	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	3	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.40 7.51 7.32 7.41	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.70 5.21	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.8209 0.8055
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559		0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.51 7.32 7.65	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.70 5.21 4.88	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.8209 0.8055 0.7996
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 14-16 20-24 24-28 28-30	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.51 7.32 7.41 7.65 7.31	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.70 5.21 4.88 4.60	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8309 0.8209 0.8055 0.7996 0.7894
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	7	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.40 7.51 7.32 7.41 7.65 7.31 7.49	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.70 5.21 4.88 4.60 4.81	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.8209 0.8055 0.7996 0.7894
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	<b>1</b>	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.51 7.32 7.41 7.65 7.31 7.49 7.24	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64 57.03	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.21 4.88 4.60 4.81 4.79	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.8209 0.8055 0.7996 0.7869
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	<b>3</b>	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.51 7.32 7.41 7.65 7.31 7.49 7.24 7.30	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.70 5.70 4.88 4.60 4.81 4.79 4.76	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8304 0.8209 0.8055 0.7996 0.78694 0.76684 0.76684
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559	<b>1</b>	0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42	7.64 7.21 7.53 7.60 7.40 7.40 7.32 7.41 7.65 7.31 7.49 7.24 7.30 7.24 7.30	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64 57.03	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.21 4.88 4.60 4.81 4.79	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.8209 0.8055 0.7996 0.7894 0.7689 0.7630 0.7630
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559		0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42 42-46	7.64 7.53 7.51 7.50 7.40 7.40 7.51 7.32 7.41 7.65 7.31 7.49 7.24 7.30 7.25 7.19	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 62.37 61.48 60.00 59.64 57.03 56.29 56.09 55.48 54.33	5.74 5.35 5.39 5.33 5.29 5.70 5.21 4.88 4.60 4.81 4.79 4.76 4.50 4.84	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8309 0.8304 0.8209 0.7896 0.7869 0.76684 0.7630 0.7615 0.7570
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559		0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42 42-46 46-48	7.64 7.21 7.53 7.61 7.40 7.40 7.40 7.32 7.41 7.32 7.41 7.32 7.45 7.31 7.24 7.30 7.25 7.19 7.25	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64 57.03 56.29 55.48 54.33 53.95	5.74 5.39 5.33 5.29 5.49 5.70 5.21 4.88 4.60 4.79 4.79 4.70 4.29 4.84	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8304 0.8209 0.8055 0.7996 0.7684 0.7630 0.7615 0.7570 0.7453
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559		0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42 42-46 46-48 48-50	7.64 7.21 7.53 7.40 7.40 7.51 7.32 7.65 7.31 7.49 7.24 7.25 7.19 7.25 7.30 7.25 7.30	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64 57.03 56.29 55.48 54.33 53.95 54.33	5.74 5.35 5.09 5.33 5.49 5.70 5.21 4.88 4.60 4.81 4.76 4.59 4.84 4.38	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.8055 0.7894 0.7684 0.7630 0.7615 0.7454 0.7453
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559		abia 4C ( 0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16-20 20-24-28 28-30 30-32 32-34 38-34 40-42 42-46 46-48 48-50-52	7.64 7.21 7.53 7.40 7.51 7.40 7.51 7.41 7.65 7.24 7.30 7.25 7.19 7.25 7.25 7.25 7.25 7.25 7.25	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64 57.03 56.29 56.09 55.48 54.33 53.95 54.33 52.77	5.74 5.35 5.09 5.33 5.29 5.49 5.21 4.81 4.60 4.79 4.76 4.76 4.29 4.84 4.24	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.7696 0.7696 0.7689 0.7657 0.7463 0.7454 0.7483 0.7454
68-70 70-72	7.42 7.35	56.47 55.34	4.94 5.64	0.7643 0.7559		0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42 42-46 46-48 48-50	7.64 7.21 7.53 7.40 7.40 7.51 7.32 7.65 7.31 7.49 7.24 7.25 7.19 7.25 7.30 7.25 7.30	67.31 67.48 68.10 65.18 66.29 67.74 66.21 64.71 62.37 61.48 60.00 59.64 57.03 56.29 55.48 54.33 53.95 54.33	5.74 5.35 5.09 5.33 5.49 5.70 5.21 4.88 4.60 4.81 4.76 4.59 4.84 4.38	0.8383 0.8421 0.8239 0.8309 0.8399 0.8304 0.8055 0.7894 0.7684 0.7630 0.7615 0.7570 0.7483

TABLA 5. Valores de la distribución de pH, %H<sub>2</sub>O, %cabono orgánico oxidable y porosidad de los sedimentos en la laguna costera Guásimas.

Tabla 6A	(Núcleo	7)			Tabla 6	B (Núcle	o 8)		
Sección	pН	H,O	Car.Org.	Porosidad	Sección	pН	H,O	Car.Org.	Porosida
(cm)		(%)	(%)	(♦)	(cm)		(%)	(%)	( <b>(</b> )
0-5	7.52	71.05	3.49	0.8598	0-5	7.63	69.38	3.95	0.8499
5-10	7.53	70.33	3.44	0.8556	5-10	7.51	71.26	3.41	0.8610
10-12	7.58	70.86	3.47	0.8587	10-15	7.68	69.53	3.55	0.8508
12-14	7.47	71,28	3.47	0.8612	15-20	7.74	69.71	3.01	0.8519
14-16	7.47	71.11	3.24	0.8602	20-25	7.63	68.60	3.21	0.8452
16-18	7.21	68.28	3.14	0.8432	25-30	7.46	66.27	2.93	0.8308
18-20	7.06	65.84	3.11	0.8281	30-32	7.80	67.14	2.99	0.8362
20-24	6.93	67.23	3.19	0.8368	32-34	7.88	66.59	3.01	0.8328
24-28	6.75	64.75	2.76	0.8211	34-36	7.43	66.04	3.24	0.8293
30-32	6.91	64.37	2.84	0.8187	36-38	7.60	65.21	2.84	0.824
32-34	6.58	64.08	2.60	0.8168	38-40	7.32	65.77	2.64	0.827
34-36	6.62	63.25	2.53	0.8114	40-42	7.45	65.34	2.60	0.8249
36-40	6.59	63.22	2.58	0.8112	42-44	6.89	64,65	2.68	0.820
40-44	6,49	64.18	2.45	0.8174	44-48	6.83	63,35	2.48	0.812
44-48	6.57	62.14	2.47	0.8040	48-52	7.25	63.78	2.16	0.814
48-52	6.81	58.71	2.40	0.7804	52-54	7.26	64.21	2.16	0.817
52-56 56-60	6.76 6.83	56.29 56.31	2.37 2.14	0.7630 0.7631	54-56	7.29	63.24	1.84	0.811
					Tabla 60	(Núcleo	<b>9</b> )		
					0-5	7.50	72.42	3.81	0.867
					5-10	7.50	72.93	3.67	0.870
					10-12	7.20	70.46	3.76	0.856
					12-14	7.20	68,64	3.46	0.845
					14-16	7.40	68.30	2.76	0.843
					16-20	7.10	68.06	2.53	0.841
					20-25	7.10	66.57	2.63	0.832
					25-30	7.00	65.19	2.41	0.824
					35-40	7.20	63.17	2.38	0.824

TABLA 6. Valores de la distribución de SO<sub>4</sub>2-, S-SO<sub>4</sub>2-/gh y S-SO<sub>4</sub>2-/gs en los núcleos de sedimento de la

lagun	a costera	a Lobos.							
Table 6A (A	lúcieo 1)			Geograph (State State St	Tabla 6C	(Núcleo 3)		1. 1.4.	
Sección	SO,2	S-SO,2/gh	S-SO,2-/gs		Sección	SO_2-	S-SO,2-/gh	S-SO <sub>4</sub> 2-/gs	
(cm)	(mM/l)	(µg-at)	(µg-at)	<u> </u>	(cm)	(mM/l)	(µg-at)	(μg-at)	
0-1	25.71	19.31	2.437		0-2	14.15	10.23	2.710	
1-3 3-5 5-7	26.52 25.33	19.55	1.610	74.6 Pinantin	2-3	14.15	10.44	2.880	
3-5	25.33	18.47	1.329		3-4	13.92	10.68	4.370	
5-7	26.11	19.33	1.550	の有難などのは、これが、	4-5	16.31	12.41	3.610	
7-9	25.61	18.76	1.578		5-6	15.01	11.09	3.560	
9-11 11-13	25.09	18.11	1.553		6-7 7-8	14.05 13.86	9.77	1.140	
13-15	24.60 24.37	17.37 17.88	0.918 3.085		8-9	15.67	9.36	4 646	
15-17	24.20	17.35	2,476		10-11	13.10	11.14 10.87	1.615 4.730	
17-19	24.25	16.65	2,338		12-13	11.26	8 67	2.000	
19-21	24.02	16.46	2,530		12-13 13-14	12.22	9.19	2.400	
21-23	23.89	16.32	1,313		14-16	11.08	8.06	1.440	
21-23 23-25	23.80	16.32 15.74	1.851		16-18	9.91	6.48		
25-27 27-29	23.61	15.97	3.343		18-20	9.46	7.11	2.900	
27-29	22.60	15.38	2.872		20-22	8.11	5.68	1.610	
29-31	21.25	14.88	3.872		22-24	8.24	6.09	1.870	
31-33	20.07	14.88 13.26	1.525	취약하는 네모스 - 이 이 스	24-24	7.46	5.00	0.970	
33-35	19.23	12.39	2.104	방식물 이 기가 있는 그 그 이 기가 있다.	26-28	6.62	4.23	0.890	
35-37	18.68	11.59	1.936		28-30	5.45	3.71	1.180	
37-39 39-41	18.23 18.35	11.86 11.63	3.383 2.522	경찰이 돌아왔는 생이 하다	30-32	4.40	2.38		
41-43	17.84	10.84	2.192		32-34 34-36	4.71 5.12	3.06	0.900	
43-47	17.67	10.31	1.945		36-38	3.65	3.24 3.23	1.040 2.740	
47-49	17.74	10.88	3.373	Appearance of the control of the con	38-40	3.65	2.44	1.220	
49-51	17.42	9.75	2.046		40-42	3.71	3.11	2.440	
51-53	17.38	10.06	2.432		42-44	3.50	1.94		
53-55	17.61	9.65	1.682		44-46	3.84	2.55	1,060	
					46-48	3.61	2.36	0.890	
Tabla 6B (N	lúcieo 2)				48-50 50-52	3.61	1.65	(1. 格爾斯斯 <b>-</b> 海那-中)	
0-2	21.08	16.84	7.275		50-52 52-54	3.96 3.50	2.33 2.02	0.750 0.340	
2-3	20.63	15.91	5.131		54-56	3.61	2.77	1.710	
3-4	21.83	16.32	3.961		56-58	3.48	1.85		
4-5	21.25	16.08	3,840		58-60	3.41	2.20	0.749	
5-6	21.04	15.94	4,481		60-62	3.37	2.25	0.800	
6-8	21.27	15.16	2.705		62-64	3.55	2.11 2.08	0.330	
8-10 10-11	21.16	15.45	2.911		64-66	3.36	2.08	0.549	
10-11	20.01	14.68	3.085		66-68 68-70	3.42	2.11	0.510	
11-12	18.85	13.49	3.382		68-70	3.50	1.86	- 2 4 1 <del>-</del> 311	
12-13	19.13	14.28	4.725				25,500	<ul> <li>A C C a C a c</li> </ul>	
13-15 15-16	18.44 17.91	13.67 13.07	3.608						
16-17	17.63	13.24	2.889 3.741					المحاقبة وبركواحه	
17-19	18.85	13.92	3.767						
19-21	18 80	13.61	2.883						
21-23	19.25	13.61 13.88	4.295				•		
21-23 23-25	19.25 19.20	13.70	3.854						
25-27	18.65	12.56	2.118						
27-30	17.60	12.06	2.906						
30-32	17.43	11.84	1.841						
32-34	16.84	11.23	2.057						
34-36	16.09	10.31	1.913						
36-38 38-40	16.41 16.73	9.18	4 40-						
40-42	16.73	9.88 10.15	1.181 2.332						
42-44	16.40	9.97	2.332 2.597						
44-46	16.43	8.66	2.597						
	16.45	9.71	1.882						
46-48	16.50	9.77	2.482						
46-48 48-50								_	
48-50	16.44	9.43	1.816			_			
48-50 50-53 53-56	16.44	9.43	1.816 0.633			ŗ	TTTT	272	
48-50 50-53	16.44 15.36 14.51	9.43 8.15 8.77	1.816			[	TE	SIS CO	

TABLA 7. Valores de la distribución de SO<sub>4</sub>2-, S-SO<sub>4</sub>2-/gh y S-SO<sub>4</sub>2-/gs en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

	lúcieo 4)			Table 7B (Ni	úcleo 6)		
Sección	SO <sub>4</sub> 2-	S-SO <sub>4</sub> 2-/gh		Sección		S-SO <sub>4</sub> 2-/gh	
(cm)	(mM/l)	(µg-at)	(μg-at)	(cm)	(mM/l)	(µg-at)	(μg-at)
0-2	10.24	8.73	4.298	0-2	25.31	19.11	2.830
2-4 4-6	11.15 9.20	9.11 7.25	2.948 1.760	2-4 4-6	24.46 25.80	18.33 20.40	1,280 4,820
6-8	7.68	6.31	1.970	6-8	25.31	18.14	7.620
8-10	8.15	6.68	2.690	8-10	23.18	17.18	2.909
10-12 12-14	8.43 9.15	6.97	2.490 2.420	10-12	23.89 24.66	18.15	0.760 0.750
14-16	8.36	7.21 6.33	1.788	12-14 14-16	23.18	18.31 16.66	1.240
16-18	8.30	6.65	2.019	16-18	22.44	16.24	[] [[ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [ [
18-20 20-22	6.43 7.47	4.78 5.42	1,476 1,560	18-20	22.09 21.64	15.94 14.31	0.996
22-24	5.57	4.33	1.660	20-22 22-24	19.32	12.86	
24-26 26-28 28-30	6.88	4.33 5.07	1.488	24-26	17.46	13.15	1.810
26-28	6.43 4.64	4.14	0.217 3,410	26-28 28-30	14.77 15.21	10.97 11.15	1.860 3.220
30-32 32-34	4.96	4.21 3.74	1.600	30-32	13.75	9.80	1.627
32-34	4.34	3.29	1.560	32-34	13.96	10.06	1.700
34-36 36-38	4.85 6.61	3.77 4.86	1.809 2.100	34-36 36-40	13.45 12.96	10.10 8.63	3.210 0.654
38-40 40-42	7.15	5.33	1.618	40-42	11.75	8.43	0.915
40-42	4.55	3.36	1.507	42-44	12.39	8.26	0.490
42-44 44-46	3.38 3.67	2.63 2.76	1.286 1.219	44-46 46-48	12.66 11.58	9.24 8.11	2.380 0.980
46-48	3.99	2.75	0.671	48-50	11.09	6.77	0.500
48-50	4.33 3.50	3.05	1.112	50-52	12.43	7.56	
50-52 52-54	3.31	2.57 2.24	1.108 0.690	52-54 54-56	10.41 10.11	6.74 7.41	0.249 0.430
54-56	4.66	3.01	0.570	56-58	8.44	5.19	
56-58 58-60	4.11 3.97	2.67 2.93	0.453 1.256	58-60	9.35	5.36	
60-62	3.61	2.94	2.016	60-62 62-64	10.08 8.60	6.41 5.30	0.546 0.278
62-64	3.67	2.01	조상정도로 기계하는 것이다.	64-66	7.31	4.60	0.310
64-66 66-68	3.94 3.51	2.17 2.24	0.559	66-68 68-70	7.43 6.22	5.19 4.35	1.419
68-70	2.98	1.76	0.183	00-70	0.22		1.120
70-72 72-74	3.21 3.30	1.62 1.69					
		1.05		Tabla 7C (N	lucteo 6)		
12-14	3.30						Brook Carlotter to a contract to
12-14	3.30			0-2	30.41	22.31	S.65
12-14	3.30			2-4	29,46	21.14	3.90
12-14	3.30			2-4 4-6 6-8	29.46 29.88 28.35	21.14 21.06 20.19	3.90 2.25
12-14	3.30			2-4 4-6 6-8 8-10	29.46 29.88 28.35	21.14 21.06 20.19	3,90 2,25 4,93 4,39
12-14	3.30			2-4 4-6 6-8 8-10	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87	3,90 2,25 4,93 4,39 4,27
12-14	3.30			2-4 4-6 6-8 8-10	29,46 29,88 28,35 28,49 27,30 25,67 24,11	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04
12-14	3.30			2-4 4-6 6-8 8-10	29.46 29.88 28.35 26.49 27.30 25.67 24.11 22.76	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32
72-74				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40
12-14				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39	3,90 2,25 4,93 4,39 4,27 3,66 5,04 6,32 1,40 2,45 5,72
1214				2-4 4-6 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58 22.00	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46
1214				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58 22.00 21.32	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46	3.90 2.25 4.93 4.27 3.66 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93
1214				2-4 4-5 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58 22.00 21.32 20.90 20.71	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46 14.15 14.01	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93
12-13				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42 42-46	29,46 29,88 28,49 27,30 25,67 24,11 122,76 23,80 24,03 32,58 22,09 21,32 20,90 20,71 20,14	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46 14.15 14.10 13.13	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93 1.46 3.78
				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42 42-46 46-48	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58 20.90 20.71 20.44 20.65	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.77 14.46 14.15 14.01 13.13	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93 1.46 3.78 3.21 3.06
				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 40-42 42-46 46-48 48-50	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.00 21.32 20.90 20.71 20.44 20.65 20.21	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46 14.15 14.01 13.13 12.62 12.38	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93 1.46 3.78 3.21 3.06 3.15
				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 38-40 40-42 42-46 46-48 48-50 50-52	29.46 29.88 28.35 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58 22.00 21.32 20.90 20.71 19.08 18.24	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46 14.15 14.01 13.13 12.63 12.62 12.38	3.90 2.25 4.93 4.27 3.66 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93 1.46 3.78 3.21 3.06 3.15
				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 40-42 42-46 46-48 48-50	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.00 21.32 20.90 20.71 20.44 20.65 20.21	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46 14.15 14.01 13.13 12.62 12.38 11.55	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93 1.46 3.78 3.21 3.06 3.15
				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 40-42 42-46 46-48 48-50 50-52 52-56	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58 22.00 21.32 20.91 20.44 20.65 20.21 19.08 18.24	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46 14.15 14.01 13.13 12.62 12.38 11.55	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93 1.46 3.76 3.21 3.06 3.15 2.59
				2-4 4-6 6-8 8-10 10-14 14-16 16-20 20-24 24-28 28-30 30-32 32-34 34-38 40-42 42-46 46-48 48-50 50-52 52-56	29.46 29.88 28.35 28.49 27.30 25.67 24.11 22.76 23.80 24.03 22.58 22.00 21.32 20.91 20.44 20.65 20.21 19.08 18.24	21.14 21.06 20.19 20.35 19.87 18.23 17.38 16.57 15.03 15.39 15.77 14.46 14.15 14.01 13.13 12.62 12.38 11.55	3.90 2.25 4.93 4.39 4.27 3.66 5.04 6.32 1.40 2.45 5.72 4.46 4.91 2.93 1.46 3.78 3.21 3.06 3.15 2.64 2.59

TABLA 8. Valores de la distribución de SO<sub>4</sub><sup>2</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2</sup>/gh y S-SO<sub>4</sub><sup>2</sup>/gs en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guasimas.

	Tabla BA (I	Núcleo 7)				Tabla 8B (N	úcieo 8)		
	Sección	SO.2-	S-SO,2-/gh	S-SO,2-/gs		Sección	SO <sub>4</sub> 2-	S-SO <sub>4</sub> 2-/gh	S-SO <sub>4</sub> 2-/gs
	(cm)	(mM/l)	(μg-at)	(µg-at)	The second secon	(cm)	(mM/l)	(µg-at)	(µg-at)
	0-5	24.08	17.81	2.45		0-5	27.51	19.53	1.4696
	5-10	23.14	16.89	2.08		5-10	26.76	19.66	2.0876
	10-12	22.11	15.14		2004 1 4 4 4 1 1 1 1	10-15	27.31	19.62	2.1000
	12-14	23.75	17.28	1.25		15-20	27.06	19.18	1.0564
	14-16	20.46	14.29	i i 🗕 Saadi ya di		20-25	25.60	17.92	1.1460
	16-18	20.91	14.78	1.60	47	25-30	25.23	17.13	1.2451
	18-20	19,31	13.49	2.28		30-32	24.70	17.01	1.3085
	20-24	19.06	13.34	1.61		32-34	23.89	16.17	0.8081
	24-28	20.15	12.89			34-36	24.63	16.72	1.3545
	30-32	18.39	12.32	1.37		36-38	24.11	16.05	0.9485
	32-34	18.46	11.62			38-40	23.45	15.57	0.4382
	34-36	16.78	11.07	1.25		40-42	23.75	15.91	1.1540
. 4	36-40	15.38	10.15	1.16		42-44	23.67	15.62	0.9052
	40-44	13.67	9.15	1.06		44-48	23.94	15.51	0.9549
	44-48	12.59	8.17	0.92		48-52	24.11	15.67	0.8282
	48-52	12.38	7.65	0.94		52-54	23.45	15.33	0.7823
	52-56	10.59	6.06	0.228		54-56	24.88	15.87	0.3808
						Tabla 8C (N	lúcieo 9)		
						0-5	27.11	21.39	6.37
						5-10	27.28	21.63	6.00
						10-12	26.84	20.55	5.56
						12-14	26.39	19.77	5.28
						14-16	26.58	19.78	5.14
						16-20	25.32	18.71	4.64
						20-25	23.17	16.85	4.28
						25-30	24.08	17.08	3.99



TABLA 9. Valores de la distribución de S2, S-S2/gh y S-S2/gs en los núcleos de sedimento de la laguna

	cos	tera Lobo	s.	ed series					
		(Núcleo 1	) 1255				(Núcleo 3)		
;	Sección (cm)	S²- (mM/l)	S-S²-/gh (µg-at)	S-S²-/gs (µg-at)		Sección (cm)		S-S²-/gh (µg-at)	S-S²-/gs (µg-at)
	0-1			Antin'i Sur		0-2			
	1-3 3-5			100 Enr		2-3 3-4			
	5-7	ga i Tara Bas	al AI ala		e, de la como de la compe	4-5			
	7-9	- 1	**	-	이 가는 고객들이 이번째	5-6			- ·
	9-11 11-13	-: -: 1		- Time - 1	화 이 어머니는 학의 결과	6-7 7-8	0.64	0.42	
	13-15		u Militaria	Ī		6-9	0.64 0.85	0.53 0.63	0.2907 0.1863
	15-17		_	1, 4 (1)		10-11	1.98	1.58	0.4887
	17-19	1 to <del>1</del> 11 11 11				12-13	2.20	1.67	0.3226
	19-21 21-23	· •	-	-		13-14 14-16	2.25 2.85	1.69 2.02	0.4542 0.2241
	23-25	· -	<u>-</u>	-		16-18	2.65 3.61	2.74	0.2241
	25-27	-	-	-	마시네 기계에 참 하다	18-20	4.14	2.86	0.5867
	27-29	: - <del>-</del> ;		Prodering to		20-22	4.43	3.03	0.6977
	29-31 31-33	3.65	2.681	1.0110		22-24 24-26	3.21 3.42	2.60 2.52	1.3960 1.0550
:	33-35	4,20	2.843	0.8000		26-28	2.67	2.29	1.7500
	35-37	4.75	2.876	0.3230		28-30	3.26	2.55	1.5020
	37-39 39-41	5.15 5.40	3.208 3.370	0.6179		30-32	6.45	4.90	2.7400
	41-43	5.75	3.403	0.4982		32-34 34-36	7.25 7.66	6.16 5.59	4.7370 3.1560
	43-47	6.61	3.889	0.7932		36-38	7.43	5.12	2.3430
	47-49	6.38	3.761	0.8916		38-40	8.41	5.63	2,8160
	49-51 51-53	7.27 6.60	4.227 3.684	1.1656		40-42 42-44	8.84 8.38	2.44 6.68	2.5900
	53-55	8.15	4.377	0.5929		42-4 <del>4</del> 44-46	9.05	5.52	4.5700 1.4080
						46-48	9.28	6.03	2.2000
	T!- 00	(Núcleo 2		20 20 5 5 7 C		48-50	8.65	5.01	1.3100
	I adia be	(Nucleo 2	,			50-52 52-54	8.80 9.10	5.06 5.64	1.4550 1.7080
	0-2	_		2.5		54-56	9.35	6.06	1.8480
	2-3					56-58	9.57	6.64	2,7010
	3-4	-	-	. <u>-</u>		58-60	9.38	5.72	1.3220
	4-5 5-6	-	-	- "		60-62 62-64	9.26 9.63	6.20 6.88	2.4540 3.4900
	6-8	-		- 14 - 1 Table 1		64-66	9.40	6.67	3.4050
	8-10	_	-	_		66-68	9.63	6.52	2.7100
	10-11	-	-			68-70	11.20	8.06	3.9990
	11-12 12-13	-	-	- ·					
	13-15	_		-					
	15-16	-	-	-					
	16-17	-	-						
	17-19 19-21	:		-			198		
	21-23	1.22	1.193	1.1520					
	23-25	1.53	1.248	0.7480					
	25-27 27-30	1.79 2.05	1.304 1.355	0.4720 0.1998					
	30-32	1.83	1.288	0.3290					
	32-34	1.60	1.264	0.6752					
	34-36	1.96	1.381	0.5421					
	36-38 38-40	2.11 2.64	1.366 1.671	0.4265 0.4567					
	40-42	2.73	1.693	0.4488					
	42-44	2.60	1.557	0.3585					
	44-46 46-48	2.57 2.80	1.733	0.7966					
	46-48 48-50	2.80 3.64	1.720 2.313	0.4760 0.8821			·		
	50-53	3.50	2.060	0.5011					and the second s
	53-56	3.85	2.331	0.7585			1	W.	1812 000
	56-59 59-62	3.36 3.38	1.947 2.114	0.4854			4	i	unitah delah b
	00-02	3.36	2.114	0.7231				TIAGE	

TABLA 10. Valores de la distribución de S2, S-S2/gh y S-S2/gs en los núcleos de sedimento de la laguna 

cost	tera Algo	dones.		-					
Tabla 10	A (Núcleo	4)			Tabla 10	B (Núcleo	5)		_
Sección (cm)	S <sup>2-</sup> (mM/l)	S-S²-/gh (µg-at)	S-S²-/gs (μg-at)		Sección (cm)	S <sup>2-</sup> (m <b>M</b> /l)	S-S²-/gh (µg-at)	S-S²-/gs (µg-at)	
0-2 2-4 4-6	1.53 1.46 1.64	1.564 1.356 1.466	0.5997 1.0420 0.9735		0-2 2-4 4-6	in formação e . Espainte,			
6-8 8-10	2.15 1.88	1.854 1.744	0.9098 1.3710		6-8 8-10			· <u>-</u> '	
10-12 12-14	2.10 2.21	1.732 1.750	0.5973 0.6171		10-12 12-14	1.21 1.34	1.184 1.278	0.9279 1.1069	
14-16 16-18	1.88 1.97	1.541 1.883	0.7802 1.6387		14-16 16-18	1.30 2.27	1.096 1.747	0.6137 0.3012	
18-20 20-22	2.34 2.11	1.891 1.633	0.9882 0.7340		18-20 20-22	1.95 2.29	1.411	0.0996 0.5735	
22-24 24-26	3.64 3.91	2.741 2.952	0.8118 1.0590		22-24 24-26 26-28	2.68 3.90 3.76	2.362 3.026 2.955	1.6268 0.7267 1.0288	
26-28 28-30 30-32	4.20 3.34 6.88	2.833 2.322 4.790	0.4790 0.4240 1.1120		28-30 30-32	4.19 4.67	3.183 3.421	1.3910 0.8356	
32-34 34-36	7.64 6.33	4.950 4.410	0.5263 0.9021		32-34 34-36	4.40 5.45	3.202 4.137	0.6362 1.4303	
 36-38 38-40	9.06 8.32	5.752 5.986	0.5554 1.1910		36-40 40-42	6.37 6.60	4.483 4.950	0.9990 1.2091	
40-42 42-44	8.64 6.88	5.707 4.766	1.1460 0.9700		42-44 44-46	6.35 7.50	4.366 5.417	0.6262 1.2259	
44-46 46-48 48-50	8.44 9.55	5.907 6.243	1.5750 0.6688		46-48 48-50 50-52	7.09 7.97 8.05	5.213 5.368 5.406	1.3490 0.9040 0.9505	
50-52 52-54	10.66 9.14 8.36	6,633 6,043 5,811	0.4750 1.1550 2.0700		52-54 54-56	7.70 7.56	5.233 5.840	0.8670 1.3940	
54-56 56-58	9.66 10.31	6.247 6.844	1.1620 1.5620		56-58 58-60	7.88 8.89	5,582 5,717	1.2976	
58-60 60-62	9.56 9.71	6.398 6.113	1.2800 1.0800		60-62 62-64	8.35 8.24	5.811 5.984	1.7470 2.5360	
 62-64 64-66	9.71 10.11	6.876 6.344	0.9309 1.2690		64-66 66-68	8.94 8.45	5.974 5.999	1.2720 1.8660	
66-68 68-70 70-72	8.87 9.15 9.77	6.920 6.264 6.050	1.9930 1.8300 1.4420		68-70	8.35	5.669	1.8400	
 72-74	8.90	5.743	2.4230						
					Tabla 10	C (Núcleo	6)		
				e Para Santa Angela da Angela da A	0-2 2-4	<u>.</u>		-	
					4-6 6-8		:	-	
					8-10 10-14	0.244 0.198	0.1831 0.1578	0.0878 0.0734	
					14-16 16-20 20-24	0.368 0.455 0.533	0.2766 0.3511 0.3743	0.0976 0.1606	
					24-28 28-30	0.611 0.735	0.4006 0.4677	0.1113 0.0649 0.0667	
					30-32 32-34	0.729 0.636	0.4812 0.3814	0.1152 0.0435	
					34-38 38-40	0,814 0,851	0.4933 0.4959	0.0803 0.0423	
					40-42 42-46 46-48	0.872 0.917 0.894	0.5038 0.5288 0.5375	0.0451 0.0667 0.1198	
					48-50 50-52	0.905 0.941	0.5711 0.5540	0.1740 0.1217	
					52-56 56-58	0.970 0.954	0.5478 0.5330	0.0681 0.0872	
					58-60	1.116	0.6843	0.1757	

TABLA 11. Valores de la distribución de S², S-S²/gh y S-S²/gs en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.

Tabla 1	IA (Núcleo	7)	simulta.	عريد العام اليكور الإيكلام		B (Núcleo	<b>8</b> )	
Sección (cm)	S <sup>2-</sup> (mM/I)	S-S²-/gh (µg-at)	S-S²-/gs (µg-at)		Sección (cm)	S²- (mM/l)	S-S²/gh (µg-at)	S-S2-/gs (µg-at)
0-5	0,3055	0.4671	0.5578		0-5	1.00 F - 1967 F		1086 - P. P.
5-10	0.2813	0.3660	0.2851		5-10			
10-12	0.3401	0.4011	0.2089		10-15		3 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	- · · · ·
12-14	0.4134	0.4733	0.0172		15-20			-
14-16	0.4479	0.5122	0.0185		20-25	0.083	0.113	0.1786
16-18	0.3687	0.4070	0.1207		25-30	0.072	0.094	0.1372
18-20	0.4016	0.4980	0.2822		30-32	0.097	0.124	0.1792
20-24	0.4437	0.5311	0.2667		32-34	0.091	0.118	0.1721
24-28	0.4079	0.4674	0.1687		34-36 36-38	0.084 0.112	0.098	0.1254
30-32	0.3990	0.4338	0.0976 0.2358		36-38	0.112	0.129 0.122	0.1609
32-34 34-36	0.4293 0.4111	0.5140 0.4535	0.2356		40-42	0.095	0.122	0.1624 0.2192
36-40	0.5563	0.5949	0.1103		42-44	0.095	0.138	0.2166
40-44	0.5968	0.6320	0.0982		44-48	0.122	0.144	0.1822
44-48	0.5219	0.5998	0.2057		48-52	0.128	0.153	0.1971
48-52	0.5694	0.6344	0.1574		52-54	0.098	0.139	0.2126
52-56	0.7036	0.7610	0.1313		54-56	0.210	0,1373	0.0122
56-60	0.6757	0.7246	0.1116		- 14 - Fi Fi			0.0.2
					Tabia 11	C (Núcleo	9)	
					0-5	0,54	0.41	0.069
					5-10	0.50	0.39	0.092
					10-12	0.68	0.53	0.173
					12-14	0.75	0,56	0.143
					14-16	0.80	0.61	0.202
					16-20	1.17	0.90	0.326
					20-25	0.97	0.72	0.222
					25-30	1.32	0.90	0.302
					35-40	1.20	0.85	0.250

TABLA 12. Valores de la distribución del potencial redox en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.

Table 12A (Núcleo 1)	Tabla 128	(Núcleo 2)	Tabla 12C	(Núcleo 3)
Sección Potencial Redox (cm) (mV)	Sección (cm)	Potencial Redox (mV)	Sección (cm)	Potencial Redox (mV)
0-1 + 105	0-2	- 15	0-2	- 85
1-3 - 45	2-3	- 35	2-3	- 119
3-5 - 167	3-4	- 28	- ^ ^ ^ ^ - ^ - ^ - ^ - ^ - ^ - ^ - ^ -	- 194
5-7 - 188	4-5	- 115	4-5	- 167
7-9 - 173	5-6	- 115	5-6	- 185
9-11 - 248	6-8	- 105	6-7	- 262
11-13 - 235	8-10	- 105	7-8	- 255
13-15 - 260	10-11	- 193	8-9	- 249
15-17 - 264	11-12	- 185	10-11	- 268
17-19 - 255	12-13	- 228	12-13	- 310
19-21 - 283	13-15	- 235	13-14	- 301
21-23 - 295	15-16	- 235	14-16	- 305
23-25 - 325	16-17	- 220	- 16-18	- 315
25-27 - 315	17-19	- 215	18-20	- 316
27-29 - 310	19-21	17、2000年4年2月(1990年)	20-22	- 321
29-31 - 320	21-23	- 220	22-24	- 325
31-33 - 365	23-25	- 245	24-26	- 331
33-35 - 347	25-27	- 271	26-28	- 320
35-37 - 379	27-30	- 266	28-30	- 355
37-39 - 370	30-32	- 292	30-32	- 365
39-41 - 361	32-34	- 285	32-34	- 360
41-43 - 393	34-36	- 335	34-36	- 373
43-47 - 402	36-38	- 382	36-38	- 365
47-49 - 415	38-40	- 370	38-40	- 391
49-51 - 435	40-42	- 376	40-42	- 394
51-53 - 444	42-44	- 384	42-44	- 399
53-55 - 455	44-46	- 375	44-46	- 410
	46-48	- 370	46-48	- 400
	48-50	- 370	48-50	- 405
	50-53	- 382	50-52	- 395
	53-56	- 410	52-54	- 400
	56-59	- 395	54-56	- 405
	59-62	- 432	56-58	- 405
			58-60	- 422
			60-62	- 435
<ul> <li>Compared the compared with the compared to the co</li></ul>		and the second second	62-64	- 446
			64-66	- 465
and the second of the second o			66-68	- 483
			20.50	

TABLA 13. Valores de la distribución del potencial redox en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

Tabla 13A (Núcleo 4)	Tabla 139	3 (Núcleo 6)	Tabla 130	C (Núcleo 6)
Sección Potencial Redox	Sección	Potencial Redox	Sección	Potencial Redox
(cm) (mV)	(cm)	(mV)	(cm)	(mV)
0-2 - 55	0-2	+ 110	0-2	+ 20
2-4 - 144	2-4	- 85	2-4	- 104
4-6 - 165	4-6	- 65	4-6	- 122
6-8 - 204	6-8	- 144	6-8	- 148
8-10 - 280	8-10	- 227	8-10	- 169
10-12 - 284	10-12	- 245	10-14	- 235
12-14 - 278	12-14	- 248	14-16	- 205
14-16 - 285	14-16	- 310	16-20	- 288
16-18 - 296	16-18	- 295	20-24	- 325
18-20 - 315	18-20	- 295	24-28	- 320
20-22 - 305	20-22	- 325	28-30	- 341
22-24 - 325	22-24	- 334	30-32	- 375
24-26 - 320	24-26	and the second of the second o	32-34	- 366
26-28 - 342	26-28	- 360	34-38	- 392
28-30 - 330	28-30	- 372	38-40	- 385
30-32 - 344	30-32	- 368	40-42	- 405
32-34 - 348	32-34	- 375	42-46	- 396
34-36 - 362	34-36	- 375	46-48	- 415
36-38 - 350	36-40	- 396	48-50	- 409
38-40 - 362	40-42	- 405	50-52	- 425
40-42 - 354	42-44	- 419	52-56	- 440
42-44 - 366	44-46	- 425	56-58	- 439
44-46 - 366	46-48	- 439	58-60	- 435
46-48 - 372	48-50	- 430	50-00	- 403
48-50 - 385	50-52	- 436		
50-52 - 399	52-54	- 440		
52-54 - 400	54-56	- 440		
54-56 - 394	56-58	- 461		
56-58 - 425	58-60	- 455		
58-60 - 432	60-62	- 449		
60-62 - 465	62-64	- 462		
62-64 - 472	64-66	- 440		
64-66 - 468	66-68	- 476		
66-68 - 476	68-70	- 475		
68-70 - 460				
70-72 - 461	- Al-Al-Al-Al-Al-Al-Al-Al-Al-Al-Al-Al-Al-A			
72-74 - 464	PARTICIPATION OF THE PROPERTY	yang dan kecamatan Maria Pada Pada Pada Pada Pada Pada Pada Pa		



TABLA 14. Valores de la distribución del potencial redox en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.

Tabla 14A (Núcleo 7) Sección Potencial Redox (cm) (mV)	Tabla 14 Sección (cm)	B (Núcleo 8) Tabla 14 Potencial Redox Sección (mV) (cm)	C (Núcleo 9) Potencial Redox (mV)
0-5 - 117 5-10 - 157 10-12 - 205 12-14 - 211 14-16 - 205 16-18 - 265 18-20 - 290 20-24 - 300 24-26 - 309	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-32 32-34 34-36	- 65 0.5 - 160 5-10 - 210 10-12 - 245 12-14 - 260 14-16 - 264 16-20 - 266 20-25 - 25-30 - 260 35-40	- 121 - 149 - 211 - 280 - 291 - 296 - 311 - 316
30-32 - 341 32-34 - 330 34-36 - 360 36-40 - 368 40-44 - 364 44-48 - 401 48-52 - 415 52-56 - 433	36-38 38-40 40-42 42-44 44-48 48-52 52-54 54-56	- 264 - 275 - 270 - 270 - 268 - 284 - 297 - 295	



TABLA 15. Valores de la distribución de FeS<sub>z</sub>/gs, Fe-FeS<sub>z</sub>/gs, S-FeS<sub>z</sub>/gs y S-FeS<sub>z</sub>/gh en los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.

	sedime	nto de la lagu	ına coste	ra Lobos.		STALLIAN I	pokabila jibis		
Tabla 16/	A (Núcleo	1)		Mary Harri		C (Núcleo			Charles Est
Sección (cm)	FeS./gs (%)	Fe-FeS-/gs (μg-at)	S-FeS <sub>2</sub> /gs (μg-at)	S-FeS <sub>z</sub> /gh (μg-at)	Sección (cm)	FeS./gs (%)	Fe-FeS-/gs (μg-at)	S-FeS_/gs (µg-at)	S-FeS <sub>z</sub> /gh (μg-at)
0-1	0.63	52.51	105.02	28.86	0-2	0.75	62.51	125.02	42.83
1-3	0.58	48.34	96.68	27.02	2-3	0.73	60.84	121.69	40.02
3-5	0.66	55.01	110.02	31,44	34	0.76	63.34	126.69	42.88
5-7	0.62	51.67	103.35 111.68	28.53	4-5 5-6	0.74	61.67	123.35	37,84 42.22
7-9 9-11	0.67 0.71	55.84 59.17	111.00	31.82 35.05	5-6 6-7	0.74 0.79	61.67 65.84	123.35 131.69	43.66
11-13	0.74	61.67	123.35	37.62	7-8	0.73	64.18	128.36	39.72
13-15	0.70	58.34	116.69	35.55	8-9	0.77 0.78	65.01	130.02	41.85
15-17	0.68	56.67	113.35	35.70	10-11	0.78	65.01	130.02	34.58
17-19	0.73	60.84	121.69	42.15	12-13	0.83	69.18	138.36	38.58
19-21	0.77	64.18	128.36	45.14	13-14	0.83	69.18	138.36	42.64
21-23	0.75	62,51	125.02	41.86	14-16	0.85	70.84	141.69	44,24
23-25	0.75	63.34	126.69	46.52	16-18	0.84	70.01	140.02	45.99
25-27	0.80	66.68	133.36	50.26	18-20	0.86	71.68	143.36	51.30
27-29	0.85	70.84	141.69	51.78	20-22	0.93	77.51	155.03	57.76
29-31	0.89	74.18	148.36	54.34	22-24	0.91	75.84	151.69	51.04
31-33	0.91	75.84	151.69	55.70	24-26	0.94	78.34	156.69	59.36
33-35	0.91 0.89	75.84	151.69	60.55	26-28	0.95	79.18	158.36	65.83
35-37 37-39	0.89	74.18 74.18	148.36 148.36	62.81 63.57	28-30	0.95 1.03	79.18 85.85	158.36 171.70	64.30 71.82
39-41	0.09	76.68	153.36	65.03	30-32 32-34	1.14	95.01	190.03	
41-43	0.88	73.34	146.69	65.55	34-36	0.98	81,68	163.36	82.22 75.04
43-47	0.97	80.85	161.70	75.64	36-38	1.15	95.85	191.70	86.72
47-49	0.97	80.85	161.70	77.16	38-40	1.19	99.18	198.37	98.58
49-51	1.15	95.85	191.70	95.56	40-42	1.24	103.35	206.70	96.54
51-53	1.11	92,51	185.03	90.51	42-44	1.27	105.85	211.71	93.99
53-55	0.98	81.68	163.36	81.54	44-46	1.27 1.24	103.35	206.70	95,37
Tabla 15			144		46-48 48-50	1.33 1.35	110.85 112.52	221,71 225.04	101.74 111.64
1 to	14 A 1999 P. 10 C				50-52 52-54	1.38 1.36	115.02 113.35	230.04 226.71	116,92
0-2	0.35	29.17	58.34	17.88	54-56	1.40	116,69	233.38	106.14 102.26
2-3 3-4	0.31	25.83	51.67	15.70	56-58	1.42	118.35	236.71	100.76
4-5	0.33 0.37	27.30 30.83	55.01 61.67	16.94 18.30	58-60	1.44	120.02	240.05	108.91
5-6	0.39	32.50	65.01	20.01	60-62	1.41	117.52	235.04	102,47
6-8	0.36	30.00	60.01	19.74	62-64	1.39	115.85	231.71	103,55
8-10	0.39	32.50	65.08	20.34	64-66	1.46	121.69	243.38	110.78
10-11	0.42	35.00	70.87	22.28	66-68	1.46	121.69	243.38	109.25
11-12	0.38	31.67	63.34	21.90	68-70	1.51	125.85	251.71	109.51
12-13	0.38	31.67	63.34	21.32					
13-15	0.41	34.17	68.34	21.97					
15-16	0.42	35.00	70,01	22.52		The second			
16-17	0.44	36.67	73.34	23.13					
17-19 19-21	0.40	33.34	66,68	21.77					
21-23	0.46 0.48	38.34 40.00	76.68 80.01	24.99 28.68					
21-23 23-25	0.48	40.00	80.01	28.64					
25-27	0.53	44.17	88.35	32.53					
27-30	0.50	41.67	83.35	31.27					
30-32	0.51	42.50	85.01	30.47					
32-34	0.56	46.67	93.35	35.38					
34-36	0.51	42.50	85.01	34.65					
36-38	0.54	45.00	90.01	39.25					
38-40	0.56	46.67	93.35	41.08					
40-42	0.58	48,34	96.68						
42-44	0.55	45.84	91.68	42.70					
44-46	0.57 0.57	47.50	95.01	44.48					
46-48 48-50	0.57	47.50	95.01	43.90					
50-53	0.59 0.64	49.17 53.34	98.35 106,68						
53-56	0.65	54.17	108.35	52.99					EOD
56-50	0.63	57.11 57.51	146.00	56.55			•	TIP TIP	( 1, 111)

52.99 56.15 53.92

115.02

113.35

56-59

59-62

0.69

54.17 57.51

56.67

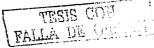


TABLA 16. Valores de la distribución de FeS\_/gs, Fe-FeS\_/gs, S-FeS\_/gs y S-FeS\_/gh en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

				11 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1						
		A (Núcleo 4				医乳腺素 医甲基甲基二甲酰胺基甲基甲基甲基	(Núcleo 6)		ay kanasa a	Awer y
	Sección (cm)	FeS-/gs (%)	Fe-FeS./gs (µg-at)	S-FeS,/gs (µg-at)	S-FeS <sub>2</sub> /gh (μg-at)	Sección (cm)	FeS_/gs (%)	Fe-FeS./gs (µg-at)	S-FeS <sub>z</sub> /gs (μg-at)	S-FeS-/gh (µg-at)
	0-2	0.86	71.68	143.36	36.35	0-2	0.94	78.34	156,69	43,18
	2-4 4-6	0.94	78.34 75.84	156.69	38.79	2-4 4-6	0.96	80.01	160.03	42.31
	6-8	0.91 0.97	75.64 80.85	151.69 161.70	39.60 38.56	<del>2-</del> 0 6-8	0.94 0.99	78.34 82.51	156.69	40.30
	8-10	0.98	81.68	163.36	43.71	8-10	0.98	81.68	165.03 163.36	45.94 48.28
	10-12	0.95	79.18	158.36	38.70	10-12	1.10	91.68	183.37	45.49
	12-14	0.95	79.18	158,36	45.67	12-14	1.04	86.68	173.36	46.04
	14-16	0.96	80.01	160.03	49.22	14-16	1.09	90.85	181.70	54.00
	16-18	1.09	90.85	181.70	47.67	16-18	1.09	90.85	181,70	48.25
	18-20	0.99	82.51	165.03	54.77	18-20	1.09	90.85	181.70	52.89
	20-22	1.15	95.85	191.70	66.32	20-22	1.15	95.85	191.70	59.15
	22-24	1.20	100.02	200.04	63.57	22-24	1.18	98.35	196.70	59.24
ì	24-26	1.21	100.85	201.70	67.75	24-26	1.24	103.35	206.70	56.88
	26-28 28-30	1.19 1.17	99.18 97.52	198.37 195.04	72.84 68.04	26-28 28-30	1.28 1.27	106.68	213.37	62.83
	30-32	1.23	102.52	205.04	74.28	30-32	1.31	105.85 109.18	211.71 218.37	71.64 71.10
	32-34	1.23	102.52	205.04	77.52	32-34	1.33	110.85	221.71	70.39
	34-36	1.28	106.68	213.37	75.44	34-36	1.33	110.85	221.71	72.38
	36-38	1.29	107.52	213.37 215.04	83,62	36-40	1.35	112.52	225.04	79,03
	38-40	1.30	108.35	216.71	70.95	40-42	1.38	115.02	230,04	70.39
	40-42	1.29	107.52	213.04	83.38	42-44	1.40	116.69	233.38	80.86
	42-44	1.35	112.52	225.04	80.49	44-46	1.41	117.52	235.04	78.03
	44-46 46-48	1.37	114.19	228,38	84.24	46-48	1.44	120.02	240.05	78.44
	48-50	1.39 1.39	115.85 115.02	231.71 230.04	86.26	48-50	1.41	117.52	235.04	86,54
	50-52	1.39	115.02	230.04	90.95 89.85	50-52	1.39	115.85	231.71	86.28
	52-54	1.40	116.69	233.38	94.61	52-54 54-56	1.37 1.44	114.19 120.02	228.38 240.05	82.44 66.94
	54-56	1,45	120.85	241.71	97.07	56-58	1.47	122.52	245.05	85.54
	56-58	1.45	120.85	241.71	95.88	58-60	1.49	124.19	248.38	97.26
	58-60	1.47	122.52	245,05	93.58	60-62	1.55	129.19	258.38	99.34
	60-62	1.56	130.02	260.05	108.36	62-64	1.50	125.02	250.05	98.89
	62-64	1.49	124.19	248.38	108.31	64-66	1.55	129.19	258.38	99.91
	64-66 66-68	1.58	131.69	263.38	112.19	66-68	1,56	130.02	260,05	96.81
	68-70	1.61 1.65	134.19 137.52	268.38 275.05	115.10 119.72	68-70	1.54	128.36	256.72	93.88
	70-72	1.64	136.69	273,39	122.09					
	72-74	1.72	143.36	286.72	139.74	Tabla	16C (Núcleo	6)		
						0-2	0.18	15.00	30.00	9,80
		1.141				2-4	0.23	19.17	38.34	12.46
						4-6 6-8	0.22	18.33 20.00	36.67 40.00	11.69
						8-10	0.24	20.00	40.00	13.92
						10-14	0.27	27.50	45.00	13.48 14.51
						14-16	0.28	23.33	46.67	15.76
						16-20	0.31	25.83	51.67	18.23
						20-24	0.30	25.00	50.01	18,81
						24-28	0.34	28.33	56.67	21.82
						28-30 30-32	0.36	30.00	60.01	24.00
						30-32	0.31	25.83	51.67	20.85
						34-38	0.29 0.37	24.17 30.83	48.34 61.67	20.77
						38-40	0.35	29.17	58.34	26.95 25.61
						40-42	0.26	21.67	43.34	19,29
						42-46	0.24	20.00	40.00	18.26
						46-48	0.25	20.83	41.67	19.18
						48-50	0.25	20.83	41.67	19,03
						50-52	0.19	15.83	31.67	14.95
						52-56	0.21	17.50	35.00	16.38
						56-58	0.21	17.50	35.00	16.99

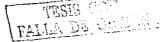


TABLA 17. Valores de la distribución de FeS<sub>x</sub>/gs, Fe-FeS<sub>x</sub>/gs, S-FeS<sub>x</sub>/gs y S-FeS<sub>x</sub>/gh en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.

Table 17	A (Núcleo	7)			Tabla 17	B (Núcleo	8)	Eller Alle	Stableach
Sección (cm)	FeS <sub>2</sub> /gs (%)	Fe-FeS <sub>z</sub> /gs (µg-at)	S-FeS <sub>z</sub> /gs (µg-at)	S-FeS <sub>z</sub> /gh (μg-at)	Sección (cm)	FeS_/gs (%)	Fe-FeS <sub>z</sub> /gs (µg-at)	S-FeS <sub>z</sub> /gs (µg-at)	S-FeS <sub>2</sub> /gh (µg-at)
0-5	0.34	28.339	56.678	16.408	0-5	-	agi edi, b	1 1.	
5-10	0.36	30.006	60.012	17.805	5-10	. <del>-</del>		- · · · · ·	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •
10-12	0.48	40.008	80.016	23.316	10-15	0.15	12.502	25.005	7.619
12-14	0.53	44.175	88.350	25.374	15-20	0.22	18.337	36.674	11.108
14-16	0.37	30,839	61.678	17.818	20-25	0.18	15.003	30.006	9.421
16-18	0.31	25.838	51.676	16.391	25-30	0.19	15.836	31.673	10.683
18-20	0.45	37.507	75.014	25.624	30-32	0.17	14.169	28,339	9.312
20-24	0.48	40.008	80.016	26.221	32-34	0.24	20.004	40,008	13.366
24-28	0.48	40.008	80.016	28.205	34-36	0.21	17.503	35,007	11.888
30-32	0.37	30.839	61.678	21.975	36-38	0.19	15.836	31,673	11.019
32-34	0.38	31.673	63.346	22.753	38-40	0.25	20.837	41.675	14,265
34-36	0.25	20,837	41.674	15.315	40-42	0.25	20.837	41.675	14,444
36-40	0.20	16.670	33.340	12.260	42-44	0.29	. 24.171	48.343	17.089
40-44	0.28	23.338	46.676	16.719	44-48	0.24	20.004	40.008	14.662
44-48	0.21	17,503	35.006	13.235	48-52	0.24	20.004	40,008	14,490
48-52	0.26	21.671	43.342	17.895	52-54	0.32	26.672	53.344	19.091
52-56	0.19	15.836	31.672	13.843	54-56	0.34	28.339	56.678	20.834
56-60	0.14	11.669	23.338	10.196					
					Tabla 17	/C (Núcleo	9)		
					0-5	0.40	33.34	66.68	18.39
					5-10	0.45	37.50	75.01	20.30
					10-12	0.38	31.67	63.34	18,71
					12-14	0.38	31,67	63.34	19.86
					14-16	0.43	35.84	71.68	22.72
					16-20	0.42	35.00	70.01	22,36
					20-25	0.45	37.50	75.01	25.07
					25-30	0.48	40.00	80,01	27.85
				1 1	35-40	0.45	37.50	75.01	27.62

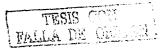


TABLA 18. Valores de la distribución de S-SO<sub>4</sub>2-/gh, S-S2-/gh, S-FeS<sub>2</sub>/gh y S tot/gh en los núcleos de

Tabla 1	A (Núcleo	1)			Table	18C (Núcleo	3)		
Sección	S-SO <sub>4</sub> 2/gh	S-S2-/gh	S-FeS_/gh	S tot/gh	Sección	S-SO <sub>4</sub> 2-/gh	S-S2-/gh	S-FeS <sub>2</sub> /gh	S tot/gh
(cm)	(µg-at)	(µg-at)	(µg-at)	(μg-atS <sup>2-</sup> )	(cm)	(µg-at)	(µg-at)	(μg-at)	(µg-at/gt
0-1	19.31		28.86	48.17	0-2	10.23	-	42.83	53.06
1-3 3-5	19.55	-	27.02	46.57	2-3	10.44	-	40.02	50.46
3-5	18,47	-	31.44	49.91	3-4	10.68	-	42.88	53.56
5-7	19.33	-	28.53	47.86	4-5	12.41	-	37.84	50.25
7-9	18.76	-	31.82	50.58	5-6	11.09	-	42.22	53.31
9-11 11-13	18.11 17.37	-	35.05	53.16	6-7	9.77	0.42	43.66	53.85
11-13	17.37	-	37.62	54.99	7-8	9.36	0.53	39.72	49.61
13-15	17.88		35.55	53.43	8-9	11.14	0.63	41.85	53.62
15-17	17.35	-	35.70	53.05	10-11	10.87	1.58	34.58	47.03
7-19	16.65	ika tu	42.15 45.14	58.80	12-13	8.67 9.19	1.67	38.58	48.92 53.52
9-21	16.46		45.14	61.60	13-14		1.69	42.64	
21-23 23-25	16.32	T-1	41.86 46.52	58.18 62.26	14-16 16-18	8.06 6.48	2.02 2.74	44.24 45.99	54.32 55.21
25-23 25-27	15.74		50.26	66.23	18-20	7.11	2.86	51.30	61.27
27-29	15.97 15.38	Mari 🗆 🗀	51.78	67.16	20-22	5.68	3.03	57.76	66.47
9-31	14.88	eriyatir. Ali	54.34	69.22	22-24	6.09	2.60	51.04	59.73
1-33	13.26	2.681	55.70	71.64	24-26	5.00	2.52	59.36	66.88
3-35	12.39	2.843	60.55	75.78	26-28	4.23	2.29	65.83	72.35
35-37	11.59	2.876	62.81	77.27	28-30	3.71	2.55	64.30	70.56
37-39	11.86	3.208	63.57	78.63	30-32	2.38	4.90	71.82	79.10
39-41	11,63	3.370	65.03	80.03	32-34	3.06	6.16	82.22	91.44
41-43	10.84	3,403	65.55	79.79	34-36	3.24	5.59	75.04	83.87
13-47	10.31	3,889	75.64	89.83	36-38	3,23	5.12	86.72	95.07
47-49	10.88	3.761	77.16	91.80	38-40	2.44	5.63	98.58	106.65
49-51	9.75	4.227	95.56	109.53	40-42	3.11	5.92	96.54	105.57
51-53	10.06	3.684	90.51	104.25	42-44	1.94	6.68	93.99	102.61
53-55	9.65	4.377	81.54	95.56	44-46	2.55	5.52	95.37	103.44
					46-48	2.36	6.03	101.74	110.13
rabla 1	8B (Núcleo	2)			48-50 50-52	1.65 2.33	5.01 5.06	111.64 116.92	118.30 124.31
	•	-•			52-54	2.02	5.64	106.14	113.80
0-2 2-3	16.84 15.91	-	17.88 15.70	34.72	54-56	2.77	6.06	102.26	111.09
3-4	16.32		15.70	31.61 33.26	56-58	1.85	6.64	100.76	109.25
4-5	16.32	-	16.94 18.30	33.26 34.38	58-60	2.20	5.72	108.91	116.48
5-6	15.94		20.01	35.95	60-62 62-64	2.25	6.29	102.47	111.01
6-8	15.16	14 T # 1944	19.74	34.90	64-66	2.11 2.08	6.88 6.67	103.55	112.54
8-10	15.45	t Elin	20.34	35.79	66-68	2.11	6.52	110.78	119.53
10-11	14,68		22.28	36.96	68-70	1.86	8.06	109.25 109.51	117.80 119.43
11-12	13.49		21,90	35.39	00-70	1.00	0.00	103.01	113.4
11-12 12-13	14.28		21.32	35.60					
13-15	13.67		21.97	35.64					
15-16	13.07		22.52	35.59					
16-17	13.24	3a	23.13	36.37					
17-19	13.92	-	21.77	35.69					
19-21	13.61		24.99	38.60					
21-23	13.88	1.193	28,68	43.75					
23-25	13.70	1.248	28.64	43.58					
25-27	12.56	1.304	32.53	46.39					
27-30	12.06	1.355	31.27	44.68					
30-32	11.84	1.288	30.47	43.59					
32-34 34-36	11.23 10.31	1.246 1.381	35.38 34.65	47.85 46.34					
36-38	9.18	1.366	39.25	49.79					
38-40	9.16 9.88		41.08	52.63					
40-42	10.15	1.671 1.693	41.08 43.94	52.63 55.78		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
42-44	9.97	1.557	42.70	54.22					
44-46	8.66	1.733	44.48	54.87					
46-48	9.71	1.720	43.90	55.33					
48-50	0.77		47.15	50.00				MTTT (11/ CT	جو جي من منو

48-50

50-53

56-59 59-62 1.720 2.313 2.060 2.331 1.947

2.114

9.77

9.43

8.15 8.77

8.17

47.15

51.08 52.99 56.15 53.92 59.23 62.57

63.47 66.86

64.20

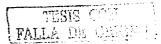


TABLA 19. Valores de la distribución de S-SO<sub>4</sub>²/gh, S-S²/gh, S-FeS<sub>2</sub>/gh y S tot/gh en los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

	sedimento	o de la lagi	una coste	ra Algodor	ies.					
	19A (Núcleo						BB (Núcleo			
	n S-SO <sub>4</sub> 2-/gh		S-FeS <sub>2</sub> /gh				5-50,2/gh			S tot/gh
(cm)	(µg-at)	(µg-at)	(µg-at)	(µg-at/gh)		(cm)	(µg-at)	(µg-at)	(µg-æt)	(µg-at/gh)
0-2	8.73	1.564	36.35	46.64		0-2	19.11	-	43.18	62.29
2-4 4-6	9.11 7.25	1.356 1.466	38.79 39.60	49.25 48.31		2-4 4-6	18,33 20,40	-	42.31 40.30	60.64 60.70
6-8	6.31	1.854	38.56	46.72		6-8	18.14	-	45.94	64.08
8-10	6.68	1.744	43.71	52.13		8-10	17.18	-	48.28	65.46
10-12	6.97 7.21	1.732	38.70	47.40		10-12	18.13	1.184	45.49	64.82
12-14 14-16	7.21 6.33	1.750 1.541	45.67 49.22	54.63 57.09		12-14 14-16	18.31 16.66	1.278 1.096	46.04 54.00	65.62 71.75
16-18	6.65	1.883	47.67	56.20		16-18	16.24	1.747	48.25	66.23
16-18 18-20	6.65 4.78	1.891	47.67 54.77	61.44		18-20	15.94	1.411	52.89	70.24
20-22	5.42 4.33	1.633	66.32	73.37 70.64		20-22	14.31	1.760	59.15	75.22
22-24 24-26	4.33 5.07	2.741 2.952	63.57 67.75	70.64 75.77		22-24 24-26	12.86 13.15	2.362 3.026	59.24 56.88	74.46 73.05
26-28	4.14	2833	72.84	79.81		26-28	10.97	2.955	62.83	76.75
28-30	4.21 3.74	2.322	68.04	74.57		28-30	11.15	3.183	71.64	85.97
30-32	3.74	4.790	74.28	82.81		30-32	9.80	3.4211	71.10	84.32
32-34 34-36	3.29 3.77	4.950 4.410	77.52 75.44	85.76 83.62		32-34 34-36	10.06 10.10	3.202 4.137	70.39 72.38	83.65 86.61
36-38	4.86	5.752	83.62	94.23		36-40	8.63	4.483	79.03	92.14
38-40	5.33	5.986	70.95	82.26		40-42	8.43	4.950	70.39	83.77
40-42	3.36	5.707	83.38	92.44		42-44	8.26	4.366	80.86	93.48
42-44	2.63 2.76	4.766 5.907	80.49 84.24	87.88 92.90		44-46 46-48	9.24 8.11	5.417 5.213	78.03 78.44	92.68 91.76
46-48	2.75	6.243	86.26	95.25		48-50	6.77	5.368	86.54	98.67
48-50	3.05	6.633	90.95	100.63		50-52	7.56 6.74	5.406	86.28	99.24
50-52 52-54	2.57	6.047	89.85	98.46		52-54	6.74	5.233	82.44	94.41
54-56	2.24 3.01	5.811 6.247	94.61 97.07	102.66 106.32		54-56 56-58	7.41 5.19	5.840 5.582	66. <b>94</b> 85.54	80.19 96.31
56-58	2.67 2.93	6.247 6.840	95.88	105.39		58-60	5.36	5.717	97.26	108.33
58-60	2.93	6.398	93.58	102.90		60-62	6.41	5.811	99.34	111.56
60-62 62-64	2.94 2.01	6.113 6.876	108.36 108.31	117.41 117.19		62-64 64-66	5.30 4.60	5.984 5.974	98.89 99.91	110.17 110.48
64-66	2.17	6.344	112.19	120.70		66-68	5.19	5.999	96.81	107.99
66-68	2.24	6.920	115.10	124.26		68-70	4.35	5.669	93.88	104.19
68-70	1.75	6.264	119.72	127.74						
70-72 72-74	1.62 1.69	6.050 5.743	122.09 139.74	129.76 147.17		T-1-1-	400 MA			
							19C (Núc <del>le</del>	) <del>()</del>		
						0-2	22.31	-	9.80	32.11
						2-4 4-6	21,14 21,06	-	12.46 11.69	33.60 32.75
						6.8	20.19	-	13.92	34.11
						8-10 10-14	20.35	0.1831		34.01
						10-14 14-16	19.87 18.23	0.1578 0.2766		34.53
						16-20	17.38	0.3515	15.76 18.23	34.26 35.96
						16-20 20-24	17.38 16.57	0.3743	18.81	35.75
						24-28 28-30	15.03	0.4006	21.82	37.25
						30-32	15,39 15.77	0.4677 0.4812	24.00 20.85	39.85 37.10
						32-34	14.46	0.3814	20.77	35.61
						34-38	14.15	0.4933	26.95	41.59
						38-40 40-42	14.01	0.4959 0.5038	25.61	40.11
						42-46	13.13 12.83	0.5038	19.29 18.26	32.92 31.61
						46-48	12.62	0.5375	19.18	32.33
						48-50	12.38	0.5711	19.03	31.98
						50-52 52-56	11.55 11.14	0.5540 0.5478	14.95 16.38	27.05
						56-58	10.15	0.5330	16.38	28.06 27.68
						58-60	10.38	0.6843		25.55



TABLA 20. Valores de la distribución de S-SO<sub>2</sub>\*/gh, S-S<sup>2</sup>/gh, S-FeS<sub>2</sub>/gh y S tot/gh en los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.

 	- Citto C	ic la lage	114 00310	- Oddomie		41.342.403.7421.	TELESCENCE SERVICES	Applied to the Con-	a talente angore s	- 15 S. META
Tabla 20	A (Núcleo	7)				Tabla 2	OB (Núcleo	B),	يستالهن	ب سيند الهاؤم
Sección	S-SO <sub>4</sub> 2-/gh	S-S2-/gh	S-FeS,/gh	S tot/gh	r saideji	Sección	S-SO <sub>4</sub> 2-/gh	S-S2-/gh	S-FeS./gh	S tot/gh
(cm)	(μg-at)	(µg-at)		(µg-at/gh)			(µg-at)			
0-5	17.81	0.4671	16,408	34.685		0-5	19.53	ing the co	a. 38897 <b>1</b> 8 444	C-200
5-10	16.89	0.3660	17.805	35.061		5-10	19.66		-	-
10-12	15.14	0.4011	23.316	38.857		10-15	19.62		7.619	27.279
12-14	17.28	0.4733	25.374	43.127		15-20	19.18		11.108	30.288
14-16	14.29	0.5122	17.818	32.620		20-25	17.92	0.113	9.421	27.454
16-18	14.78	0.4070	16,391	31,578		25-30	17.13	0.094	10,683	27.907
18-20	13.49	0.4980	25,624	39,612		30-32	17.01	0.124	9.312	26,446
20-24	13.34	0.5311	26.221	40.090		32-34	16.17	0.118	13.366	29.654
24-28	12.89	0.4674	28.205	41.562		34-36	16.72	0.098	11.888	28.706
30-32	12.32	0.4338	21.975	34.728		36-38	16.05	0.129	11.019	27.198
32-34	11.62	0.5140	22.753	34.880		38-40	15.57	0.122	14.265	29.957
34-36	11.07	0.4535	15.315	26.838		40-42	15.91	0.138	14.444	30.492
36-40	10.15	0.5949	12.260	23.004		42-44	15.62	0.138	17.089	32.847
40-44	9.15	0.6320	16.719	26,501		44-48	15.51	0.144	14.662	30.316
44-48	8.17	0.5998	13.253	22.022		48-52	15.67	0.153	14.490	30.313
48-52	7.65	0.6344	17.895	26.179		52-54	15.33	0.139	19.091	34.560
52-56	6.06	0.7610	13.843	20.664		54-56	15.87	0.1373	20.834	36.840
56-60	5.76	0.7246	10.196	16.680			100077#			
							and the second			
						Table 2	C (Núcleo	۵۱		
						12012 2	oc (nacieo i	-,		
								ř.		
						0-5	21.39	0.41	18.39	40.19
						5-10	21.63	0.39	20.30	42.32
						10-12	20.55	0,53	18.71	39.79
						12-14	19.77	0.56	19.86	40.19
						14-16	19.78	0.61	22.72	43.11
						16-20	18.71	0.90	22.36	41.97
						20-25	16.85	0.72	25.07	42.64
						25-30	17.08	0.90	27.85	45.83
						35-40	15.99	0.85	27.62	44,46

TABLA 21. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Lobos.

Tabla 21A (Núcleo 1) Sección Piritización (cm)	Tabla 21B Sección (cm)	(Núcleo 2) Piritización	Tabla 21C ( Sección (cm)	Núcleo 3) Piritización
0-1 0.10	0-2	0.15	0-2	0.11
1-3 0.10	2-3	0.16	2-3	0.13
3-5 0.13	3-4	0.15	3-4	0.13
5-7 0.12	4-5	0.17	4-5	0.12
7-9 0.15	5-6	0.19	5-6	0.14
11-13 0.14	6-8	0.14	6-7	0.13
13-15 0.14	8-10	0.19	7-8	0.14
15-17 0.15	10-11	0.18	8-9	0.13
17-19 0.18	11-12	0.18	10-11	0.15
19-21 0.17	12-13	0.19	12-13	0.14
21-23 0.18	13-15	0.13	13-14	0.16
23-25 0.18	15-16	0.16	14-16	0.14
25-27 0.21	16-17	0.14	16-18	0.13
27-29 0.22	17-19	0.18	18-20	0.15
29-31 0.21	19-21	0.16	20-22	0.17
31-33 0.19	21-23	0.16	22-24	0.15
33-35 0.20	23-25	0.16	24-26	0.14
35-37 0.20	25-27	0.17	26-28	0.16
37-39 0.23	27-30	0.18	28-30	0.17
39-41 0.24	30-32	0.19	30-32	0.17
41-43 0.21	32-34	0.12	32-34	0.18
43-47 0.24	34-36	0.14	34-36	0.17
47-49 0.25	36-38	0.18	36-38	0.17
49-51 0.28	38-40	0.17	38-40	0.18
51-53 0.26	40-42	0.18	40-42	0.20
53-55 0.26	42-44	0.10	42-44	0.20
33.23	44-46	0.18	44-46	0.19
	46-48	0.17	46-48	0.19
	48-50	0.13	48-50	0.21
	50-53	0.15	50-52	0.21
	53-56	0.13	52-54	0.22
	56-59	0.14	54-56	0.22
[42] H. C. Hannes, Phys. Lett. 5, 181 (1992); P. Millian, Phys. Lett. 5, 191 (1992).	59-62	0.14	56-58	0.23
	J5-UZ	U. I ••	58-60	0.24
	ing managkan Palikera	and the second of the second		
into taking paramatan balan ito bir bir bir bayaran	al a di Sali alambata	Jan 19, Nova Prilonom	60-62	0.23
	and the second of the	And Agreed Comment	62-64 64-66	0.24
er in a company of the second and the second	and a second second			0.24
			66-68 68-70	0.23



TABLA 22. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Algodones.

Tabla 22A	(Núcleo 4)		Table 22B	(Núcleo 5)		Tabla 22C	(Núcleo 6)
Sección (cm)	Piritización		Sección (cm)	Piritización		Sección (cm)	Piritización
0-2	0.22	<b>7</b>	0-2	0.20	_	0-2	0.10
2-4	0.22		2-4	0.22		2-4	0.11
4-6	0.24		4-6	0.21		4-6	0.11
6-8	0.21		6-8	0.24		6-8	0.11
8-10	0.23	100	8-10	0.22		8-10	0.12
10-12	0.20		10-12	0.20		10-14	0.15
12-14	0.24		12-14	0.24		14-16	0.11
14-16	0.22		14-16	0.25		16-20	0.12
16-18	0.23		16-18	0.27		20-24	0.11
18-20	0.24		18-20	0,25		24-28	0.14
20-22	0.26		20-22	0.26		28-30	0.14
22-24	0.22	1.0	22-24	0.24	A Security	30-32	0,12
24-26	0.25		24-26	0.28		32-34	0.14
26-28	0.24		26-28	0.23		34-38	0.12
28-30	0.27		28-30	0.19	1 34 TOLER	38-40	0.16
30-32	0.25		30-32	0.21		40-42	0.20
32-34	0.27		32-34	0.20		42-46	0.16
34-36	0,27		34-36	0.24		46-48	0.15
36-38	0.26		36-40	0.25	and the second second	48-50	0.17
38-40	0.26		40-42	0.24		50-52	0.20
40-42	0.23		42-44	0.26		52-56	0.20
42-44	0.28		44-46	0.25	- 1 - 1 - 44a	56-58	0.19
44-46	0.30		46-48	0.29	1,000,000	58-60	0.20
46-48	0.29		48-50	0.27			JU
48-50	0.30		50-52	0.25			
50-52	0.32		52-54	0.25			
52-54	0.30		54-56	0.28	11 1444		
54-56	0.32		56-58	0.28			
56-58	0.27		58-60	0.28	1.00		a di Sangaran da ka
58-60	0.29		60-62	0.28			
60-62	0.29		62-64	0.25			
62-64	0.33		64-66	0.26			
64-66	0.30		66-68	0.29	1.00	31 20 K to 15 K	
66-68	0.34		68-70	0.30			
68-70	0.33						and the second second
70-72	0.33				and the second		1. 1 miles (1. 18 miles 18 mil
72-74	0.35						

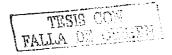


TABLA 23. Valores de piritización de los núcleos de sedimento de la laguna costera Guásimas.

Tabla 23A (Núcleo 7)	Tabla 23E	23B (Núcleo 8) Tabla 23C (Nú			
Sección Piritización (cm)	Sección (cm)	Piritización	Sección (cm)	Piritización	
0-5 0.19	0-5		0-5	0.20	
5-10 0.15	5-10	_	5-10	0.18	
10-12 0.17	10-15	0.03	10-12	0.16	
12-14 0.21	15-20	0.04	12-14	0.18	
14-16 0.25	20-25	0.04	14-16	0.22	
16-18 0.21	25-30	0.03	16-20	0.24	
18-20 0.18	30-32	0.03	20-25	0.22	
20-24 0.23	32-34	0.05	25-30	0.25	
	34-36	0.04	35-40	0.23	
30-32 0.25	36-38	0.04	and the same of th		
32-34 0.21	38-40	0.059	terre de la competition de		
34-36 0.25	40-42	0.06			
36-40 0.26	42-44	0.08			
40-44 0.26	44-48	0.06			
44-48 0.22	48-52	0.18			
48-52 0.23	52-54	0.11			
52-56 0.23	54-56	0.12			
52-30 0.23 56 60 0.23	34-36	V.12			



TABLA 24. Coeficiente de difusión (Ds) del ión SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en los núcleos de sedimento.

Núcleo	Porosidad promedio	Coeficiente de Difusión Ds (cm²/seg)	Coeficiente de Difusión Ds (cm²/año)
1	0.8053	8.2 x 10 <sup>-6</sup>	259.8944
2	0.8012	8.2 x 10 <sup>-6</sup>	258.8348
3	0.7890	8.1 x 10 <sup>-6</sup>	255.6781
4	0.8170	8.3 x 10 <sup>-6</sup>	262.9093
5	0.8239	8.3 x 10 <sup>-5</sup>	264.6848
6	0.7855	8.0 x 10 <sup>-6</sup>	254.7698
7	0.8228	8.3 x 10 <sup>-6</sup>	264.4009
8	0.8318	8.4 x 10 <sup>-6</sup>	266.7125
9	0.8436	8.5 x 10 <sup>-6</sup>	269.7368

TABLA 25. Parámetros estimados por Regresión No-Lineal. Sulfato sin considerar bioturbación.

Núcleo	PARM [1]	PARM [2]		
Lobos núcleo 1	0.8053	0.0000082		
Lobos núcleo 2	0.8012	0.0000082		
Lobos núcleo 3	0.7890	0.000081		
Algodones núcleo 4	0.8170	0.0000083		
Algodones núcleo 5	0.8239	0.000083		
Algodones núcleo 6	0.7855	0.0000080		
Guásimas núcleo 7	0.8228	0.0000083		
Guásimas núcleo 8	0.8318	0.000084		
Guásimas núcleo 9	0.8436	0.0000085		

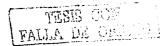


TABLA 26. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato sin considerar bioturbación.

Núcleo	w (cm/año)	w (cm/seg)	k (1/año)	k (1/seg)	Go (µmol/g)	Go (mol/g)
Lobos núcleo 1	0.37625	1.19308E-8	0.00566	1.79477E-10	519.2943	0.0005192
Lobos núcleo 2	0.30025	9.52086E-9	0.00360	1.14155E-10	398,5670	0.0003985
Lobos núcleo 3	0.95125	3.01639E-8	0.03619	1.14757E-9	276,5561	0.0002765
Algodones núcleo 4	0.52100	1.65208E-8	0.01085	3.44051E-10	198,4015	0.0001874
Algodones núcleo 6	0.57775	1.83203E-8	0.01335	4.23325E-10	514.2302	0.0005142
Algodones núcleo 6	0.32150	1.01946E-8	0.00413	1.30961E-10	526,9847	0.0005269
Guásimas núcleo 7	0.45525	1.44358E-8	0.00829	2.62874E-10	461.2927	0.0004612
Guásimas núcleo 8	0.14875	4.71683E-0	0.00088	2.79046E-11	509,5181	0.0005095
Guásimas núcleo 9	0.27100	8.59335E-9	0.00293	9.29096E-11	572,9656	0.0005729

TABLA 27. Parámetros estimados por Regresión No-Lineal. Sulfato con bioturbación.

Núcleo	PARM [1]	PARM [2]
Lobos núcleo 1	20.71982	0.01362
Lobos núcleo 2	16.76610	0.01223
Lobos núcleo 3	12.67159	0.03475
Algodones núcleo 4	8.580223	0.02211
Algodones núcleo 5	21.54088	0.02159
Algodones núcleo 6	22.36877	0.01283
Guásimas núcleo 7	19.60324	0.01808
Guásimas núcleo 8	20.29791	0.00562
Guásimas núcleo 9	22.51196	0.00991



TABLA 28. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Sulfato con bioturbación.

Núcleo	w (cm/año)	w (cm/seg)	k (1/año)	k (1/seg)	Go (µmal/g)	Go (mol/g)
Lobos núcleo 1	0.34063	1.06013E-8	0.00464	1,47168E-10	542.6780	0.0005192
Lobos núcleo 2	0.30598	9.70272E-9	0.00374	1.18753E-10	437,0636	0.0003985
Lobos núcleo 3	0.86879	2.75493E-8	0.03019	9.57391E-10	327,0289	0.0002765
Algodones núcleo 4	0.55288	1.75317E-8	0.01222	3.87718E-10	227,0361	0.0001874
Algodones núcleo 5	0.53989	1,71197E-8	0.01165	3.69710E-10	573,3832	0.0005142
Algodones núcleo 6	0.32096	1.01777E-8	0.00412	1.30666E-10	575.3802	0.0005269
Guásimas núcleo 7	0.45209	1,43356E-8	0.00817	2.59240E-10	521.3575	0.0004612
Guásimas núcleo 8	0.14055	4,45704E-9	0.00079	2.50570E-11	544,3656	0.0005095
Guásimas núcleo 9	0.24782	7.85839E-9	0.00245	7.78982E-11	608.6266	0.0005729

TABLA 29. Estimaciones para la concentración asintótica (µg-at/gh)

Núcleo	Concentración asintótica
Lobos núcleo 1	3,06465
Lobos núcleo 2	2.61516
Lobos núcleo 3	0.97867
Algodones núcleo 4	0.49972
Algodones núcleo 5	2.30276
Algodones núcleo 6	3,40168
Guásimas núcleo 7	2.67048
Guásimas núcleo 8	3.96323
Guásimas núcleo 9	4.24931



TABLA 30. Parámetros estimados por Regresión No-Lineal. Pirita sin considerar bioturbación.

Núcleo	PARM [1]	PARM [2]
Lobos núcleo 1	174.7016	0.00766
Lobos núcleo 2	103.0223	0.00710
Lobos núcleo 3	121.7720	0.01336
Algodones núcleo 4	135.1092	0.01262
Algodones núcleo 5	82.96835	0.01403
Algodones núcleo 6	-	
Guásimas núcleo 7	-	ar € 1 to 1 to 1 for the first milities
Guásimas núcleo 8	20.82364	0.01438
Guásimas núcleo 9	18.10485	0.01822

TABLA 31. Parámetros w, k y Go del Modelo de Berner. Pirita sin considerar bioturbación.

Núcleo	w (cm/año)	w (cm/seg)	k (1/año)	k (1/seg)	Go (µmol/g)	Go (mol/g)
Lobos núcieo 1	0.1915	6.07242E-0	0.00146	4.62962E-11	401.6129	0.0004016
Lobos núcleo 2	0.1775	5.62B48E-0	0.00126	3.99643E-11	236.8329	0.0002368
Lobos núcleo 3	0.3340	1.05910E-8	0.00446	1.41425E-10	279.9366	0.0002799
Algodones núcleo 4	0.3166	1.00044E-8	0.00398	1.26204E-10	310.5959	0.0003106
Algodones núcleo 6	0.3607	1.11222E-8	0.00492	1.66012E-10	190.7318	0.0001907
Algodones núcleo 6	_ <u>.</u>	-	-	-	-	-
Guásimas núcleo 7	-	-	-	-	-	-
Guásimas núcleo 8	0.3697	1.14066E-8	0.00517	1.63939E-10	47.87043	0.0000478
Guásimas núcleo 9	0.4565	1.44438E-8	0.00829	2.62874E-10	41,62034	0.0000416

Nota: los datos de las concentraciones de los núcleo 6 y 7 se muestran de tal manera que no es posible estimar los parámetros debido a la gran dispersión que presentan.



Tabla 32. Velocidad de formación de pirita (μmol/cm³/año).

Prof. (cm)	Núcleo 1	Prof. (cm)	Núcleo 2	Prof. (cm)	Núcleo 3	Prof. (cm)	Núcleo 4	Prof. (cm)	Núcleo 5	Prof. (cm)	Núcleo 8	Prof. (cm)	Núcleo
0-2	0.25312	0-2	0.12889	0-1	0.53949	0-2	0.53100	0-2	0.40253	0-5	0.10359	0-3.5	0.14540
2-4	0.24930	2-3.5	0.12730	1-2	0.53233	2-4	0.51778	2-4	0.39139	5-10	0.09641	3.5-5.5	0.1382
4-6	0.24553	3.5-4.5	0.12617	2-4	0.52179	4-6	0.50488	4-6	0.38057	10-15	0.08972	5.5-7.5	0.1333
6-8	0.24181	4.5-5.5	0,12528	46	0,50804	6-8	0.49230	6-8	0.37004	15-18.5	0.08440	7.5-10.5	0.1274
8-10	0.23815	5.5-7	0.12417	6-7	0.49796	8-10	0,48003	8-10	0.35980	18.5-20.5	0.08113	10.5-15	0.1190
10-12	0.23455	7-8.5	0.12286	7-8.5	0.48972	10-12	0.46808	10-12	0.34985	20.5-22.5	0.07882	15-20	0.1091
12-14	0.23100	8.5-9.5	0.12177	8.5-10.5	0.47841	12-14	0.45641	12-14	0.34017	22.5-24.5	0.07659	20-30	0.0953
14-16	0.22750	9.5-11	0.12069	10.5-12.5	0.46580	14-16	0.44504	14-16	0.33076	24.5-26.5	0.07442		
16-18	0.22407	11-13	0.11921	12.5-14.5	0.45353	16-18	0.43396	16-18	0.32161	26.5-28.5	0.07231		
18-20	0.22067	13-15	0.11753	14.5-16.5	0.44158	18-20	0.42314	18-20	0.31272	28.5-30.5	0.07026		i ĉ
20-22	0.21733	15-17	0.11587	16.5-18.5	0.42994	20-22	0.41260	20-22	0.30406	30.5-33.5	0.06778	l .	
22-24	0.21404	17-19	0.11424	18.5-20.5	0.41861	22-24	0.40232	22-24	0.29565	33.5-37.5	0.06447	1	
24-26	0.21080	19-21.5	0.11243	20.5-22.5	0.40758	24-26	0.39230	24-26	0.28747	37.5-40.5	0.06130	1	
26-28	0.20761	21.5-24	0.11045	22.5-24.5	0.39684	26-28	0.38252	26-28	0.27952	40.5-42.5	0.05913	i	1
28-30	0.20448	24-26	0.10870	24.5-26.5	0.38638	28-30	0.37299	28-31	0.26990	l			
30-32	0.20137	26-28	0.10717	26,5-28.5	0.37619	30-32	0.36370	31-34	0.25877	L	4	l	
32-34	0.19833	28-30	0.10566	28.5-30.5	0.36629	32-34	0.35464	34-36	0.24985				
34-36	0.19533	30-32	0.10416	30.5-32.5	0.35663	34-36	0.34581	36-38	0.24293		3.33		
36-39	0.19164	32-34	0.10270	32.5-34.5	0.34723	36-38	0.33718	38-40	0.23622		1.33		
39-42	0.18731	34-36	0.10126	34.5-36.5	0.33798	38-40	0.32879	40-42	0.22968	第14			
42-44	0.17377	36-38	0.09982	36.5-38.5	0.32917	40-42	0.32060	42-44	0.22333				
44-46	0.18099	38-40	0.09842	38.5-40.5	0.32050	42-44	0.31261	44-46	0.21714		200		
46-48	0.17826	40-42	0.09703	40.5-42.5	0.31205	44-46	0.30482	46-48	0.21114				
		42-44.5	0.09549	42.5-44.5	0.30383	46-48	0.29722	48-50	0,20531				
		44.5-47.5	0.09365	44.5-46.5	0.29582	48-50	0.28982	50-52	0.19962	中区部			
		47.5-50.5	0.09167	46.5-48.5	0.28802	50-52	0.28260	52-54	0.19409				
11.5		50.5-53.5	0.08974	48.5-50.5	0.28044	52-54	0.27556	54-56	0.18873			38.	
47				50.5-52.5	0.27304	54-56	0.26869	56-58	0.18351				
				52.5-54.5	0.26585	56-58	0.26200	58-60	0.17843				
				54.5-56.5	0.25885	58-60	0.25548	60-62	0.17350				
				56.5-58.5	0.25202	60-62	0.24910						
				58.5-60.5	0.24538	62-64	0.24290						
				60.5-52.5	0.23891	64-66	0.23685						

TABLA 33. Gradiente de concentración inicial (mM/cm) de sulfatos.

Nŭcl <del>e</del> o	Columna completa:	Columna sin bioturbación;
o o o o o o o o o o o o o o o o o o o	0.28	0.29
2	0.20	0.18
3	0.44	0.40
4 ]	0.18	0.14
5	0.46	0.44
6	0.28	0.26
7	0.35	0.31
8	0.11	0.11
9	0.22	0.22
*B21	0.21	
*B13	0.18	
*B17	0.25	
*B24	0.09	
*P19	0.06	

<sup>\*</sup>Paez-Osuna y Osuna-López, 1990.

TABLA 34. Constante B en mM (cm²/año).

Núcleo	Columna completa:	Columna sin bioturbación;
1	1,20	1.26
2	1.49	1.63
3	1.97	2.33
4	2.91	The state of the s
5	1.16	3.53 1.29
6	1.12	1.22
7	1.27	1.44
8	1.23 (4.14) 4.14	1.31
9	1.1,1 (a. 1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1	
Berner, (1978)	1.00	
Paez-Osuna y	1,49000	
Osuna-López, (1990). Golfo de California.		Approximately and the second
Reimers and Suess, (1983). Noroeste de Africa,	0.72000	



TABLA 35. Tasa de sulfato reducción integrada (mol/m² por año).

Núcleo	Columna completa:	Columna sin bioturbación;
1	0.76	0.84
2	0.59	0.51
3	1.08	1.12
4	0.62	0.41
5	1.26	1.27
6	0.81	0.64
7	0.95	0.90
8	0.30	0.32
9	0.60	0.66
Martens y Klump, (1984).	5.0 - 26.8	

TABLA 36. Vida media del carbono orgánico oxidable (años).

Núcleo	Columna completa:	Columna sin bioturbación;
1	149.38	122.46
2	185.33	192.54
3	22.95	19.15
4	56.72	63,88
5	59.49	51.92
6	168.23	167.83
7	84.83	83,61
8	877.39	787.66
9	282.91	236.56
Paez-Osuna, (1983).	100-1000 (talud)	
	10-330 (depresiones)	
	50-450 (plataforma continental)	the control of the composition o

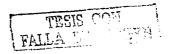


Tabla 37. Tasa de acumulación para sulfato (g/cm²/año).

Prof. (cm)	Núcleo 1	Prof. (cm)	Núcleo 2	Prof. (cm)	Núcleo 3	Prof. (cm)	Núcleo 4	Prof. (cm)	Núcleo 5	Prof. (cm)	Núcleo 6	Prof. (cm)	Núcleo 7	Prof. (cm)	Núcleo 8	Prof. (cm)	Núcleo 9
0-1	0.11439	0-2	0.11727	0-2	0.38215	0-2	0.16875	0-2	0.18186	0-2	0.13316	0-5	0.16162	0-5	0.05379	0-5	0.08366
1-3	0.11674	2-3	0.11610	2-3	0.36332	2-4	0.16410	2-4	0.17319	2-4	0.13234	5-10	0,16646	5-10	0.04981	5-10	0.08170
3-5	0.11986	3-4	0.11797	3-4	0.37662	4-6	0.17467	4-6	0.16754	4-6	0.12923	10-12	0.16289	10-15	0.05347	10-12	0.09080
5.7	0.11500	4-5	0.11274	4-5	0.33341	6-8	0.15705	6-8	0.18406	6-8	0.14412	12-14	0.16001	15-20	0.05307	12-14	0.0976
7-9	0.11952	5-6	0.11789	5-6	0.38193	8-10	0.17989	8-10	0.19797	8-10	0.13839	14-16	0.16116	20-25	0.05548	14-16	0.0989
9-11	0.12516	6-8	0.12796	6-7	0.36687	10-12	0.16156	10-12	0.16052	10-14	0.13103	16-18	0.18076	25-30	0.06064	16-20	0.0999
11-13	0.12976	8-10	0.12015	7-8	0.33696	12-14	0.19667	12-14	0.17401	14-16	0.13880	18-20	0.19817	30-32	0.05870	20-25	0.1057
13-15	0.12959	10-11	0.12093	8.9	0.35358	14-16	0.21274	14-16	0.19921	16-20	0.14658	20-24	0.18814	32-34	0.05992	25-30	0.1112
15-17	0.13498	11-12	0,13623	10-11	0.28069	16-18	0.17566	16-18	0.19673	20-24	0,15918	24-28	0.20624	34-36	0.06117	35-40	0.1195
17-19	0.15200	12-13	0.13170	12-13	0,29686	18-20	0.23375	18-20	0.19425	24-28	0.16401	30-32	0.20900	36-38	0.06304		
19-21	0.15495	13-15	0.12437	13-14	0.33519	20-22	0.24629	20-22	0.20857	28-30	0.17236	32-34	0.21119	38-40	0.06178		
21-23	0.14566	15-16	0.12452	14-16	0.34073	22-24	0.22148	22-24	0.20251	30-32	0.17441	34-36	0.21742				
23-25	0.16364	16-17	0,12148	16-18	0.36266	24-26	0.23727	24-26	0.18158	32-34	0.18955	36-40	0.21765	# 4   1			
25-27	0.17102	17-19	0.12679	18-20	0.40409	26-28	0.26561	26-28	0.19700	34-38	0.19397						
27-29	0.16268	19-21	0.12655	20-22	0.42535	28-30	0.24897	28-30	0.23390	38-40	0.19519	4.2					
29-31	0.16312	21-23	0,14255	22-24	0.37374	30-32	0.26110	30-32	0.22289								
31-33	0.16364	23-25	0,14231	24-26	0.43466	32-34	0.27590	32-34	0.22330							].	
33-35	0.18240	25-27	0.14754	26-28	0.49093	34-36	0.25320	34-36	0.22371						1		
35-37	0.19726	27-30	0.14918	28-30	0.47587	36-38	0.28619	36-40	0.24505								
37-39	0.20047	30-32	0.14255	30-32	0.49492	38-40	0.22980										
39-41	0.19769	32-34	0.15316	32-34	0.51796				or where			100 ju +   100 ju ju ju					
		34-36	0.16845	34-36	0.56205	n Alle Salah											ļ
		36-38	0.18437	36-38	0.55030												
		38-40	0.18671	38-40	0.62762							[2] [1]					
																	١.
					I Note:			944									
- 4						認識	37354V		<b>企</b> 等。		Sa Mari	\$30 gl.	5.7611		No.		L_

は、自己の意味が

212

Tabla 38. Tasa de acumulación para pirita (g/cm²/año).

Prof. (cm)	Núcleo 1	Prof. (cm)	Núcleo 2	Prof. (cm)	Núcieo 3	Prof. (cm)	Núcleo 4	Prof. (cm)	Núcleo 5	Prof. (cm)	Núcleo 8	Prof. (cm)	Núcleo 9
0-1	0.06431	0-2	0.06800	0-2	0.14691	0-2	0.09630	0-2	0.11815	0-5	0.13768	0-5	0.15378
1-3	0.06563	2-3	0.06735	2-3	0.13967	2-4	0,93640	2-4	0.11251	5-10	0.12750	5-10	0.15018
3-5	0.06738	3-4	0.06843	3-4	0.14478	4-6	0.09968	4-8	0.10885	10-15	0.13685	10-12	0.16691
5-7	0.06465	4-5	0.06540	4-5	0.12818	6-8	0.08962	6-8	0.11958	15-20	0.13585	12-14	0.17957
7-9	0.06719	5-6	0.06839	5-6	0.14683	8-10	0.10265	8-10	0.12861	20-25	0.14199	1416	0.18189
9-11	0,07038	6-8	0.07423	6-7	0.14104	10-12	0.09219	10-12	0.10428	25-30	0.15520	16-20	0.18363
11-13	0.07295	8-10	0.06970	7-8	0.12954	12-14	0.11223	12-14	0.11305	30-32	0.15025	20-25	0.19432
13-15	0.07285	10-11	0.07015	8-9	0.13593	14-16	0,12140	14-16	0.12942	32-34	0.15337	25-30	0.20442
15-17	0.07588	11-12	0.07902	10-11	0.10791	16-18	0.10024	16-18	0.12781	34-36	0.15658	35-40	0.21976
17-19	0.08545	12-13	0.07540	12-13	0.11412	18-20	0.13339	18-20	0.12620	36-38	0.16135		
19-21	0.08711	13-15	0.07214	13-14	0.12886	20-22	0.14055	20-22	0.13550	38-40	0.15814		
21-23	0.08189	15-16	0.07223	14-16	0.13099	22-24	0.12639	22-24	0.13156				
23-25	0.09200	16-17	0.07047	16-18	0.13942	24-26	0.13540	24-28	0.11797				
25-27	0.09615	17-19	0.07355	18-20	0.15535	26-28	0.15157	26-28	0.12799				
27-29	0.09148	19-21	0.07341	20-22	0.16352	28-30	0.14207	28-30	0.15196				
29-31	0.09130	21-23	0.08269	22-24	0.14368	30-32	0.14899	30-32	0.14480				
31-33	0.09200	23-25	0.08255	24-26	0.16710	32-34	0.15744	32-34	0.14507				
33-35	0.10254	25-27	0.08559	26-28	0.18873	34-36	0.14449	34-36	0.14534				
35-37	0.11089	27-30	0.08654	28-30	0.18294	36-38	0.16331	36-40	0.15920	异类			
37-39	0.11270	30-32	0.08269	30-32	0.19026	38-40	0.13113				14.3		
39-41	0.11114	32-34	0.08885	32-34	0.19912	4							
		34-36	0.09772	34-36	0.21607	4.0							
		36-38	0.10695	36-38	0.21156								
		38-40	0.10831	38-40	0.24128								
ļ					. (1)					in North			

TABLA 39. Tasa de sedimentación (w) de otros lugares o regiones del mundo comparados con este estudio.

Localización	Tasa de sedimentación (w) cm/año	Referencia		
Baralaria Bay, USA	0.7 1.3	Hatton <i>et al.</i> (1982)		
Long Island Sound, USA	0.3 — 0.6	Aller (1980)		
Guarapina, Brasil	0.1 — 0.3	Patchineelam et al. (1988)		
Venice, Italy	0.3 — 0.7	Pavort <i>et al.</i> (1987)		
Ems, Wadden Sea	0.9 — 1.1	Cadeé (1980, 1986)		
Kiel Bight, Germany	0.1 - 0.3	Baizer <i>et al.</i> (1983)		
Narragansett Bay, USA	0.15	Nixon and Pilson (1963)		
Laguna Lobos, Son. Méx.	0.3 — 0.9	Este estudio		
aguna Algodones, Son. Méx.	0.3 0.5	Este estudio		
Laguna Guásimas, Son. Méx.	0.1 - 0.4	Este estudio		

TABLA 40. Cantidades totales (ton/m²).

Sulfato	Sulfuro	Pirita	Azufre total
1.22	0.12	4.13	5.47
0.08	0.01	0.29	0.37
0.24	0.01	0,25	0.47
	1.22 0.08	1.22 0.12 0.08 0.01	1.22 0.12 4.13 0.08 0.01 0.29

TABLA 41. Cantidades totales (mg-at/gh) por m2.

Laguna	Suffato	Sulfuro	Pirita	Azufre total
Lobos	8,907	865	30,181	39,964
Algodones	7,001	1,002	26,447	34,450
Guásimas	5,810	135	6,061	11,592



TABLA 42. Comparación de w, k y Go para sulfato y pirita.

<b>812-1</b>	Sulfato	Sulfato columna incompleta			o columna co	mpleta	Pirita columna incompleta			
Núcleos	w(cm/afio)	k(1/afio)	Go(µmol/gr)	w(cm/año)	k(1/afio)	Go(µmol/gr)	w(cm/afio)	k(1/año)	Go(µmol/gr)	
1	0.37625	0.00566	519.2943	0.334063	0.00464	542.6780	0,19150	0.00146	401.6129	
2	0.30025	0.00360	398.5670	0.30598	0.00374	437.0636	0.17750	0.00126	236,8329	
3	0.95125	0.00361	276.5561	0.86879	0.03019	327.0289	0.33400	0.00446	279.9356	
4	0.52100	0.01085	187.4015	0.55288	0.01222	227.0361	0.31550	0.00398	310.5959	
6	0.57775	0.01335	514.2302	0.53989	0.01165	573.3832	0.35075	0.00492	190.7318	
6	0.32150	0.00413	526.9847	0.32096	0.00412	575.3802				
7	0.45525	0.00829	481.2927	0.45209	0.00817	521.3575	•			
B	0.14875	0.00088	509.5181	0.14055	0.00079	544.3658	0.35972	0.00517	47.8704	
•	0.27100	0.00293	572.9656	0.24782	0.00245	608.6266	0,45550	0.00829	41.6203	



TABLA 43. Concentración de sulfato de otros estudios.

Localización	Profundidad	Concentración	Autor	Tipo de Zona
Núcleo 50G, Cuenca Pescadero, G.C.	0 – 316 cm	4.7 – 27.6 mM	Goldhaber, Kaplan, (1980)	Golfo
Núcleo 32, Golfo de México, Sur de Texas	0 – 200 cm	16.6 – 29.6 mM	Filipek, Owen, (1981)	Golfo
Núcleo 1, Saanich Iniet, British Columbia.	0 – 185 cm	0.03 – 2.2 gr/lt	Nissenbaum et al., (1972)	Fiordo
Muestreo 1, Estación IV, El Verde, Sin.	0 - 10 cm	15,77 – 22.21 mM	Ortega, (1983)	Laguna costera
Muestreo 2, Estación 2, El Verde, Sin.	0 - 10 cm	3.12 - 3.97 mM	Ortega, (1983)	Laguna costera
Núcleo B4, Bahía de Banderas, Méx.	0 – 215 cm	6.6 – 26.1 mM	Páez-Osuna, (1994)	Área oceánica
Núcleo B18, Cuenca de Guaymas, Golfo de California.	0 – 110 cm	0 – 28.3 mM	Páez-Osuna, Osuna-López, (1990)	Golfo
Núcleo B10, Cuenca del Carmen, Golfo de California.	0 – 53 cm	28 – 34.3 mM	Páez-Osuna, Osuna-López, (1990)	Golfo
Núcleo B25, Cuenca Farallón, G.C.	0 – 44 cm	25.3 – 31.8 mM	Páez-Osuna, Osuna-López, (1990)	Golfo
Núcleo B3, Cuenca Pescadero, G.C.	0 – 84 cm	0 – 40.6 mM	Páez-Osuna, Osuna-López, (1990)	Golfo
Laguna Lobos,	0 – 70 cm	3.50 - 26.52 mM	Este estudio	Laguna costera
Laguna Algodones.	0 – 74 cm	2.98 - 30.41 mM	Este estudio	Laguna costera
Laguna Guásimas.	0 – 56 cm	10.59 – 27.51 mM	Este estudio	Laguna costera

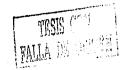


TABLA 44. Concentración de sulfuro de otros estudios.

Localización	Profundidad	Concentración	Autor	Tipo de Zona
Núcleo 1, Saanich Inlet, British Columbia.	0 – 185 cm	0 – 5 mM/it	Nissenbaum et al., (1972)	Fiordo
Núcleo BBP6/79, Buzzards Bay, Massachusetts.	0 – 66 cm	0 – 6 mM	Henrich y Farrington, (1987)	Bahla
Núcleo PRE, Pettaquamscutt River, Rhode Island.	0 – 84 cm	0.01 – 2.5 mM	Henrich y Farrington, (1987)	Estuario
La Maddalena, Italia.	**********	0.12 %	Toussaint, Boniforti, (1979)	Archipiélago
Núcleo 38, Walvis Bay.		0.8 %	Simoneit at al., (1978)	Bahla
Núcleo EBBS-35, Mar de Bering Oriental.		0.5 %	Ventakesan et al., (1981)	Mar
Cuenca San Pedro, California.		0.7 - 1.1 %	Shokes, Mankiewicz, (1978)	Área oceánica
Muestreo 2 Estación 2, El Verde, Sin.	0 – 10 cm	2.31 - 7.8 mM	Ortega, (1983)	Laguna costera
Muestreo 3, El Verde, Sinaloa.	1 – 67 cm	6.94 - 16.57 mM	Ortega, (1983)	Laguna costera
Laguna Lobos.	0 – 70 cm	0 – 11.20 mM	Este estudio	Laguna costera
Laguna Algodones.	0 – 74 cm	0 – 10.66 mM	Este estudio	Laguna costera
Leguna Guásimas.	0 – 56 cm	0 – 1.32 mM	Este estudio	Laguna costera



TABLA 45. Concentración de pirita de otros estudios.

Localización	Profundidad	Concentración	Autor	Tipo de Zona
Núcleo BH1, Long Island Sound.	0 – 28 cm	1.51 - 1.98 % dw	Berner, (1970)	Estuario
Núcleo L-154, Parte Central del Golfo de California.	12 – 105 cm	655 - 1260 ppm dw	Berner, (1964)	Golfo
Núcleo 19, Golfo de México, Sur de Texas.	0 – 150 cm	9.4 - 116 mM	Filipek y Owen, (1981)	Golfo
Núcleo 30, Gotland Deep, Mar Báltico.	0 – 414 cm	0 – 1.01 mol/kg	Boesen y Postma, (1988)	Mar
Núcleo 6247, Cuenca Santa Mónica, California.	0 – 447 cm	0.02 - 0.7 % dw	Kaplan <i>et al.</i> , (1963)	Área oceánica
Núcleo 7131, Cuenca Santa Bárbara, California.	0 – 435 cm	0.516 - 0.898 % dw	Kaplan et al., (1963)	Área oceánica
El Verde, Sinaloa.	1 – 70 cm	0.4 - 1.8 %	Ortega, (1983)	Laguna costera
Laguna Lobos.	0 – 70 cm	0.31 – 1.51 %	Este estudio	Laguna costera
Laguna Algodones.	0 – 74 cm	0.18 - 1.72 %	Este estudio	Laguna costera
Leguna Guásimas.	0 – 56 cm	0.48 %	Este estudio	Laguna costera



TABLA 46. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguna costera Lobos.

Núcleo 2		Núcleo 3		Núcleo 4	
Sección	Textura	Sección	Textura	Sección	Textura
(cm)		(cm)		(cm)	
0-2	LIMOMUYFINO	0-2	LIMOFINO	0-2	LIMOGRUESO
2-4	LIMOMUYFINO	2-4	LIMOMUYFINO	2-4	LIMOGRUESO
4-6	LIMOFINO	4-6	LIMOMEDIANO	4-6	LIMOGRUESO
6-8	LIMOFINO	6-8	LIMOMEDIANO	<b>6–</b> 8	LIMOMEDIAN
8-10	LIMOMUYFINO	8-10	LIMOMEDIANO	8-10	LIMOMEDIAN
10-12	LIMOFINO	10-12	LIMOFINO	10-12	LIMOGRUESO
12-14	LIMOFINO	12-14	ARCILLA	12-14	LIMOMEDIAN
14-16	LIMOFINO	14-16	LIMOGRUESO	14-16	LIMOMEDIAN
16-18	LIMOFINO	16-18	ARCILLA	16-18	LIMOGRUESO
18-20	LIMOMEDIANO	18-20	LIMOMEDIANO	18-20	LIMOMEDIAN
20-22	LIMOFINO	20-22	LIMOGRUESO	20-22	LIMOGRUESO
22-24	LIMOFINO	22-24	LIMOGRUESO	22-24	LIMOMEDIAN
24-26	LIMOMEDIANO	24-26	LIMOGRUESO	24-26	LIMOGRUESO
26-28	LIMOFINO	26-28	LIMOGRUESO	26-28	LIMOMEDIAN
28-30	LIMOFINO	28-30	LIMOGRUESO	28-30	LIMOMEDIAN
30-32	LIMOMEDIANO	30-32	LIMOGRUESO	30-32	LIMOMEDIAN
32-34	LIMOGRUESO	32-34	LIMOGRUESO	32-34	LIMOGRUES
34-36	LIMOGRUESO	34-36	LIMOGRUESO	34-36	LIMOGRUES
36-38	LIMOGRUESO	36-38	LIMOGRUESO	36-38	LIMOGRUES
38-40	LIMOMEDIANO	38-40	LIMOGRUESO	38-40	LIMOGRUES

TABLA 47. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguna costera Algodones.

Núcleo 1		Núcleo 3		Núcleo 4	
Sección	Textura	Sección	Textura	Sección	Textura
(cm)		(cm)		(cm)	
0-2	LIMOFINO	0-2	LIMOMUYFINO	0-2	LIMOMEDIANO
2-4	LIMOFINO	2-4	LIMOMUYFINO	2-4	LIMOMEDIANO
4-6	LIMOFINO	4-6	LIMOFINO	4-6	LIMOMEDIANO
6-8	LIMOFINO	6-8	LIMOMUYFINO	6-8	LIMOGRUESO
8-10	LIMOFINO	8-10	LIMOMUYFINO	8-10	LIMOGRUESO
10-12	LIMOFINO	10-12	LIMOMUYFINO	10-12	LIMOMEDIANO
12-14	LIMOFINO	12-14	LIMOFINO	12-14	LIMOMEDIANO
14-16	LIMOFINO	14-16	LIMOMEDIANO	14-16	LIMOGRUESO
16-18	LIMOFINO	16-18	LIMOMEDIANO	16-18	LIMOGRUESO
18-20	LIMOFINO	18-20	LIMOMEDIANO	18-20	LIMOGRUESO
20-22	LIMOMUYFINO	20-22	LIMOMEDIANO	20-22	LIMOGRUESO
22-24	LIMOMUYFINO	22-24	LIMOMEDIANO	22-24	LIMOGRUESO
24-26	LIMOMUYFINO	24-26	LIMOMEDIANO	24-26	LIMOGRUESO
26-28	ARCILLA	26-28	LIMOMEDIANO	26-28	LIMOGRUESO
28-30	LIMOFINO	28-30	LIMOMEDIANO	28-30	LIMOGRUESO
30-32	LIMOFINO	30-32	LIMOMEDIANO	30-32	LIMOGRUESO
32-34	LIMOFINO	32-34	LIMOGRUESO	32-34	LIMOGRUESO
34-36	LIMOFINO	34-36	LIMOGRUESO	34-36	ARENA MUY F



TABLA 48. Ambiente de depósito y textura de la columna sedimentaria de la laguna costera Guasimas.

Núcleo 2 Sección (cm)	Textura
0-2 2-4 4-6 6-8 8-10 10-12 12-14 14-16 16-18 18-20 20-22 22-24 24-26 26-28 28-30 30-32 32-34 34-36	LIMO MUY FINO LIMO MUY FINO LIMO GRUESO LIMO GRUESO
36-38 38-40	LIMO GRUESO LIMO MEDIANO

