

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

**DETERMINACIÓN DE BIOMASA BACTERIANA EN SEDIMENTOS
SUPERFICIALES DEL NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA MEDIANTE
ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS.**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANÓLOGO
PRESENTA
GUILLERMO PABLO FRANCO SOTO**

Ensenada, Baja California.

Diciembre de 1999.

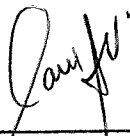
DETERMINACIÓN DE BIOMASA BACTERIANA EN SEDIMENTOS
SUPERFICIALES DEL NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA MEDIANTE
ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE OCEANÓLOGO

PRESENTA:

GUILLERMO PABLO FRANCO SOTO



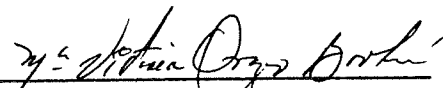
Dr. Víctor F. Camacho Ibar

PRESIDENTE DEL JURADO



M.C. Eduardo Durazo Beltrán

SINODAL PROPIETARIO



M.C. Victoria Orezco Borbón

SINODAL PROPIETARIO

RESUMEN

Se analizaron diecisiete muestras de sedimento superficial de la parte norte del Golfo de California, para determinar diferencias regionales en la estructura de la comunidad bacteriana y la biomasa bacteriana empleando a los ácidos grasos unidos a moléculas fosfolípicas por enlaces ésteres (PLFA's). Los ácidos grasos se clasificaron en tres grupos mediante el AC y en 3 factores, asociados a tres fuentes distintas, mediante el AF modo-R. Las fuentes determinadas fueron bacterias "tipo b", correspondiente a bacterias anaerobias, Gram-positivas y sulfatoreductoras; bacterias "tipo c", que corresponde a bacterias aerobias; y bacterias "tipo a", que es un grupo transicional con una mezcla de bacterias aerobias y anaerobias. Las estaciones de muestreo se agruparon en tres regiones. En la Región 1 predominaron los aportes de la fuente bacteriana "tipo b", para la Región 2 se encontraron bacterias aerobias y anaerobias, y en la Región 3 predominó la fuente bacteriana "tipo c". La biomasa bacteriana, calculada a partir de la concentración total de PLFA's, estuvo en el intervalo de 1×10^8 células g^{-1} a 2.4×10^9 células g^{-1} . Las biomasas bacterianas fueron mayores en las zonas costeras, presentándose los valores mas altos hacia la costa de Baja California. Se empleó la razón *trans/cis* del ácido graso monoinsaturado 16:1 ω 9 para determinar el estado fisiológico de las bacterias, encontrándose una razón en el rango de 2 a 4. La constante resuspensión y depositación del sedimento en la región puede ser una de las causas de los elevados valores de los ácidos grasos trans.

Dedicatoria

A mi abuela...

Agradecimientos

Al Dr. Víctor F. Camacho Ibar, director de esta tesis.

A los sinodales M. C. Eduardo Durazo Beltrán y M. C. Ma. Victoria Orozco Borbón.

A CONACYT Proyecto No. 3929-T "Efecto de las descargas del Río Colorado en la Geoquímica del Alto Golfo de California" por el financiamiento para esta tesis.

Al Proyecto UABC "Efecto de la Disminución del Flujo del Río Colorado en la Geoquímica del Alto Golfo de California: Uso de biomarcadores lipídicos como indicadores de fuentes de carbono orgánico", por la beca otorgada.

Al IIO, Departamento de Geoquímica Ambiental.

CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. <i>Limitaciones del método</i>	7
1.2. <i>Antecedentes</i>	9
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. <i>Hipótesis</i>	14
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	15
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
4.1. <i>Colecta de los Sedimentos Superficiales</i>	18
4.2. <i>Procedimiento analítico</i>	18
4.2.1. <i>Extracción de los lípidos totales</i>	19
4.2.2. <i>Purificación</i>	20
4.2.3. <i>Identificación y cuantificación de los PLFA's</i>	21
4.3. <i>Cálculo de la biomasa microbiana</i>	21
4.4. <i>Procesamiento de los datos</i>	22
4.4.1. <i>Análisis de Grupo (AG)</i>	22
4.4.2. <i>Análisis de Componentes Principales (ACP)</i>	23
4.4.3. <i>Razones entre ácidos grasos</i>	23
5. RESULTADOS.....	25
5.1. <i>Ácidos grasos en el norte del Golfo de California</i>	25

5.2.	<i>Concentración total de PLFA's y biomasa microbiana.....</i>	28
5.3.	<i>Agrupación de los ácidos grasos.....</i>	30
5.3.1.	<i>El análisis de componentes principales.....</i>	32
5.4.	<i>Clasificación de las estaciones de muestreo.....</i>	35
6.	DISCUSIONES.....	41
6.1.	<i>Fuentes bacterianas de carbono sedimentario.....</i>	41
6.2.	<i>Regionalización del Golfo de California.....</i>	46
6.3.	<i>Biomasa microbiana.....</i>	52
6.4.	<i>Estado fisiológico de las comunidades bacterianas.....</i>	55
7.	CONCLUSIONES.....	58
8.	LITERATURA CITADA.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Modelo de mosaico fluido en una membrana celular.	5
2	Localización del área de estudio y las 17 estaciones de muestreo de los sedimentos superficiales.	16
3	Dendrograma del AC modo-R para los ácidos grasos, obtenido a partir del coeficiente de correlación de Pearson (1-Pearson r) y el método de aglomeración de unión completa.	33
4	Representación gráfica de los eigenvalores y porcentaje total de la varianza del análisis factorial en modo-R para los ácidos grasos.	34
5	Representación gráfica de las cargas de los factores rotados para los ácidos grasos. Extracción por Componentes principales y rotación Varimax.	36
6	Dendrograma del AC modo-Q para las estaciones, obtenido a partir del método de aglomeración de unión completa y la distancia Euclídeana.	38
7	Regionalización del norte del Golfo de California.	50
8	Distribuciones porcentuales de los diferentes grupos de PLFA's para las regiones del norte del Golfo de California.	51
9	Contenido de biomasa microbiana en las estaciones de muestreo.	54

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Grupos funcionales de microorganismos clasificados con base en los ácidos grasos predominantes.	6
2	Composición porcentual de PLFA's en las muestras de sedimento y concentración total de PLFA's en cada muestra.	26
3	Distribución porcentual de los diferentes grupos de PLFA's en los microorganismos.	27
4	Estaciones con mayor porcentaje de cada uno de los grupos de PLFA's.	29
5	Estaciones de muestreo, PLFA's totales, biomasa, ácidos grasos totales (AGT), carbono orgánico (CO), profundidad (Z) y región.	29
6	Valores de las razones PLFA's i+a de 15:0/16:0, trans/cis de 16:1 ω 9 y PLFA monoinsaturado (<19)/PLFA ramificado, en los sedimentos superficiales del NGC para las 17 estaciones de muestreo.	31
7	Análisis Factorial en modo-R. Carga de los factores rotados para los ácidos grasos. Extracción por Componentes principales y rotación Varimax. Los tres factores explican el 72% de la varianza total.	35
8	Concentración porcentual de los grupos funcionales en cada estación de muestreo.	39

1. INTRODUCCIÓN

Los microorganismos en el medio ambiente marino se pueden dividir en dos grandes grupos: (1) Eucariontes, con tamaño típico de 10-100 μ m, los cuales tienen una estructura celular más especializada formada por: un núcleo, nucleolo, retículo endoplásmico, aparato de Golgi, mitocondria y lisosoma; este grupo incluye a las microalgas (organismos fotosintéticos), protozoarios (predadores de bacterias) y hongos, levaduras y moho (organismos no fotosintéticos); y (2) Procariontes, con tamaños típicos de 1-10 μ m, son organismos unicelulares que carecen de un núcleo bien definido; incluyen a las bacterias (0.5-10 μ m) y algas verdeazules. Los organismos procariontes, especialmente las bacterias, son agentes importantes en la transformación de la materia orgánica particulada en productos orgánicos disueltos y finalmente en CO₂ (Millero, 1996). Las comunidades bacterianas del bentos son importantes para el funcionamiento de los ecosistemas marinos, particularmente en lo que se refiere a la transferencia de energía a través de la cadena trófica. Los sedimentos y los microorganismos que los habitan son una fuente de alimento para los invertebrados, los cuales a su vez sirven de alimento para especies de peces demersales de importancia económica y otras especies que son presas de predadores tope (Findlay y Watling, 1998).

La cuantificación de poblaciones microbianas en sedimentos marinos es complicada, ya que el aislamiento y enumeración exacta de todos los microbios presentes en el medio ambiente se debe hacer sin modificar las condiciones *in situ* (Rajendran *et al.*, 1992a). Los primeros métodos para estimar biomasa microbiana en sedimentos fueron similares a los que se empleaban para la columna de agua e incluyen la microscopía de epifluorescencia o técnicas basadas en el comportamiento bioquímico de las células. Sin embargo, estos métodos tenían problemas con la recuperación de bacterias adheridas a partículas y limitaciones en la medición exacta de biovolúmenes (Findlay *et al.*, 1989).

El análisis de los lípidos, particularmente los ácidos grasos en fosfolípidos (PLFA's), provee de un método alternativo para la cuantificación de la comunidad microbiana (Findlay y Dobbs, 1993). Los lípidos han sido usados como marcadores biológicos para determinar fuentes de materia orgánica (ej: terrestre vs. marina, natural vs. antropogénica, procarionte vs. eucarionte) y sus procesos de transformación en varios medios ambientes (White *et al.*, 1979; Volkman *et al.*, 1980; Tunlid *et al.*, 1989; Mancuso *et al.*, 1990; Rajendran *et al.*, 1994; Findlay y Watling, 1998; Doumenq *et al.*, 1999). Los biomarcadores se pueden dividir en dos categorías, aquellos que reflejan la biomasa general o la biomasa de grupos de organismos, y los que indican la presencia de un organismo específico. Idealmente, un biomarcador que sea específico

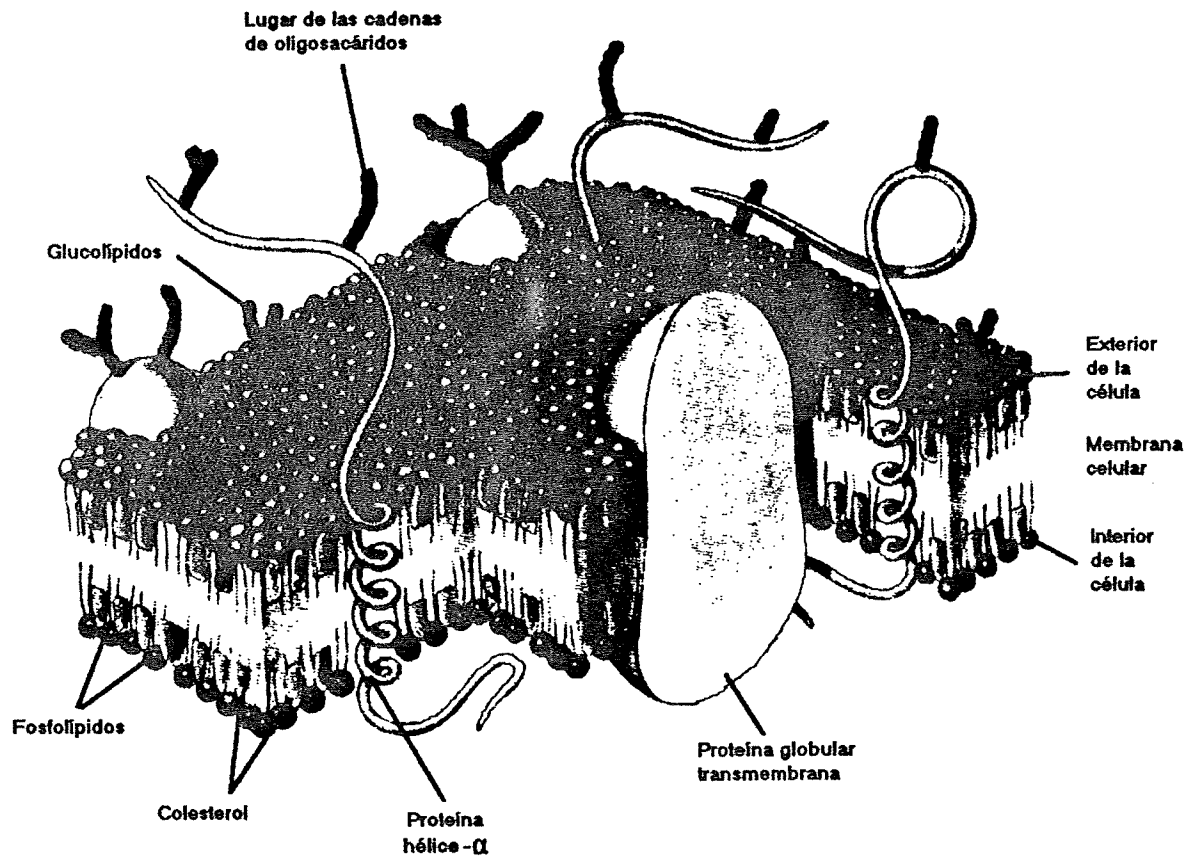
debe ser único para un género o especie y representar una alta proporción del total de los ácidos grasos, para que bajas concentraciones de bacterias puedan ser determinadas mediante el análisis de sus biomarcadores. Un biomarcador debe estar distribuido universalmente, ser reproducible con relación a la biomasa celular y ser recuperable cuantitativamente (Parkes, 1980).

Los lípidos de la membrana celular, particularmente sus ácidos grasos asociados, son utilizados como biomarcadores, ya que son componentes esenciales de las bacterias (con excepción de archaebacterias), además de que tienen una gran diversidad estructural complementada con una alta especificidad biológica (Parkes, 1980). Algunas de las ventajas de los métodos de análisis de lípidos son: (1) se puede determinar la estructura de la comunidad microbiana a nivel de grupos funcionales y la biomasa en la misma muestra; (2) se puede aplicar a sedimentos que no pueden ser analizados por microscopía; (3) tienen una alta precisión (Findlay y Dobbs, 1993). Las desventajas de los métodos son: (1) aunque se conoce la composición de ácidos grasos de muchos microorganismos, existen algunas dudas para traducir los datos de los ácidos grasos de fosfolípidos en una descripción de las comunidades microbianas, (2) se necesita equipo especial sofisticado y de costo elevado como el cromatógrafo de gases, espectrómetro de masas, y protección para el personal de laboratorio que maneja solventes orgánicos potencialmente cancerígenos (Findlay y Dobbs, 1993).

El análisis de ácidos grasos unidos por enlaces ésteres a moléculas fosfolípídicas (PLFA's) es un método químico eficaz para cuantificar la biomasa microbiana viva y la estructura de la comunidad (Mancuso *et al.*, 1990). Los fosfolípidos son componentes de la membrana celular (Fig. 1), cuya degradación es relativamente rápida por hidrólisis cuando las células mueren; es por eso que su análisis provee de una medición de la biomasa celular viable mejor que otros métodos para medir biomasa como la actividad enzimática, niveles de ácido murámico y ATP total (Rajendran *et al.*, 1992b).

El análisis de los PLFA en sedimentos subsuperficiales no contaminados provee de información de biomasa similar a la obtenida por conteos directos al microscopio (Volkman *et al.*, 1980; Rajendran *et al.*, 1992a; Doumenq *et al.*, 1999). Por otro lado, para determinar la estructura de la comunidad microbiana en los sedimentos Findlay *et al.* (1990a) y Findlay y Dobbs (1993), proponen el término "grupo funcional" donde agrupan microorganismos que comparten características bioquímicas. Estos autores forman a los grupos funcionales con base en información bibliográfica sobre la composición microbiana y con base en la respuesta de los microorganismos a perturbaciones de su hábitat. Los dos grupos funcionales principales en los sedimentos son eucariontes y procariontes, y a estos últimos los dividen en tres grupos. Los cuatro grupos funcionales resultantes son: (i) microeucariontes, (ii) procariontes aerobios y eucariontes, (iii) procariontes Gram positivos y otras bacterias anaerobias, y

(iv) bacterias sulfatoreductoras y otras bacterias anaerobias Gram-negativas
(Tabla 1).



*Tomado de Hickman (1990).

Figura 1. Modelo de una membrana celular indicando la bicapa fosfolipídica. Los hilos representan la porción hidrofóbica (ácidos grasos) y las esferas la porción hidrofílica (grupo fosfato).

Tabla 1. Grupos funcionales de microorganismos clasificados con base en los ácidos grasos predominantes (Tomado de Findlay y Dobbs, 1993).

Grupos funcionales ¹			
Eucariontes	Procariontes aerobios y Eucariontes	Procariontes Gram-positivos y otras bacterias anaerobias	Bacterias sulfatoreductoras y otras bacterias anaerobias Gram-negativas
16:4 ω 1 16:3 18:4 ω 3 20:5 22:5 ω 6 22:6 ω 3 20:4 ω 6	16:1 ω 5 16:1 ω 7 17:1 ω 6 18:1 ω 7 18:1 ω 9 18:2 ω 6	a-15:0 i-15:0 i-16:0	10Me16:0 a-17:0 i-17:0 cy-17:0 cy-19:0

Como ejemplos de estudios recientes en sedimentos marinos para determinar diferencias en la estructura de la comunidad microbiana bentónica y biomasa se pueden citar los realizados por Findlay y Watling (1998) y Rajendran *et al.* (1994). En el caso de Rajendran *et al.* (1994), se estudió la biomasa microbiana y la estructura de la comunidad en la bahía de Osaka, Japón, encontrándose que la biomasa, calculada en base a la concentración total de PLFA's, estuvo en el intervalo de 0.25×10^8 a 1.35×10^8 células por gramo (peso seco) de sedimento. Se encontraron diferencias regionales significativas en la estructura de la comunidad bacteriana incluyendo: (1) la predominancia de bacterias anaerobias y bacterias Gram-positivas, caracterizadas por la mayor abundancia de PLFA's ramificados, en el lado este y noreste de la bahía, donde la concentración de contaminantes fue alta, y (2) la predominan-

cia de procariontes y eucariontes aerobios, en el lado oeste y sudoeste de la bahía, evidenciado por el mayor contenido de PLFA's monoinsaturados. En el caso de Findlay y Watling (1998) el análisis de PLFA's se aplicó al estudio de variaciones estacionales en la estructura de una comunidad microbiana marina bentónica. Tres grupos funcionales de microorganismos fueron los más abundantes: los microeucariontes fotosintéticos y dos grupos de bacterias anaerobias. Los organismos microeucariontes tuvieron la mayor abundancia relativa durante períodos de agua fría y mayor productividad primaria. Los dos grupos de bacterias anaerobias poseyeron la mayor abundancia relativa en períodos de agua cálida.

1.1. Limitaciones del método

Haack *et al.* (1994) determinaron la exactitud y reproducibilidad de los perfiles de ésteres metilados de ácidos grasos (FAME's), en dos modelos de comunidades bacterianas y su efecto en la determinación de la biomasa y la composición taxonómica de la comunidad. Los resultados de estos autores sugieren que las conclusiones acerca de la composición taxonómica de la comunidad, así como de las estimaciones de biomasa publicadas se han basado en generalizaciones inapropiadas. Como ejemplo están los ácidos grasos ramificados, los cuales se han considerado característicos de bacterias Gram-

positivas. En este trabajo se encontró que estos ácidos grasos también son característicos de los géneros Gram-negativos *Cytophaga* y *Flavobacterium*, en específico el ácido graso i-15:0. Los ácidos grasos ciclopropílicos 17:0 y 19:0, generalmente asociados a bacterias anaerobias, fueron encontrados por estos autores en las especies de *Pseudomonas*. Los ácidos grasos monoinsaturados 16:1 ω 7 *cis* y *trans* se asocian comunmente a procariontes, sin embargo tres de las bacterias estudiadas por estos autores no presentaron alguno de los isómeros de este ácido graso, y solo una tuvo bajos niveles del ácido graso 16:1 ω 7 *cis*. Por otro lado, en el cálculo de la biomasa microbiana sugieren que el factor de conversión de 100 μ mol de PLFA por gramo de peso seco de células microbianas, puede presentar problemas de exactitud. En su experimento determinaron que cada especie bacteriana difiere en el contenido de PLFA's. Las concentraciones estimadas variaron de 11 a 197 μ mol de PLFA por gramo de peso seco para dos bacterias, *Bacillus* sp. y *Cytophaga* sp. respectivamente. Otros autores como Mancuso *et al.* (1990) determinaron concentraciones de PLFA's para *Methylococcus* sp. entre 272 y 354 μ mol de PLFA por gramo y para *Methylobacterium* sp. de 57 a 66 μ mol de PLFA por gramo. Haack *et al.* concluyen que las estimaciones de biomasa y la interpretación taxonómica basada en los perfiles de ácidos grasos se deben emplear con precaución, además de comparar los resultados obtenidos con métodos alternativos.

Con base en lo anterior, es pertinente aclarar que el uso de *Escherichia coli* como bacteria de referencia para las estimaciones de biomasa en el presente estudio se debe considerar como una primera aproximación.

1.2. Antecedentes

Chávez-Vargas (1997) utilizó los ácidos grasos de la materia orgánica total para determinar las fuentes de carbono orgánico presente en los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California. Determinó que existen seis fuentes principales de carbono orgánico hacia los sedimentos: fitoplancton, zooplancton, material terrígeno, bacterias sulfatoreductoras y otros dos grupos de bacterias a las que llamó A y B. Los sedimentos superficiales los clasificó en seis regiones: Alto Golfo, Costa de Sonora, Cuenca Wagner, Cuenca Delfín, Costa de Baja California y Cuenca Tiburón. Las regiones del Alto Golfo y Costa de Sonora presentaron una alta abundancia relativa de ácidos grasos fitoplanctónicos. Para estas regiones se han reportado valores altos de productividad primaria (Gaxiola-Castro *et al.*, 1995 y Valdéz-Holguín *et al.*, 1995), por lo que la producción primaria en la columna de agua se ve reflejada en la composición de los sedimentos.

En las regiones profundas disminuyó el aporte fitoplanctónico y aumentó el zooplanctónico, posiblemente debido a una mayor degradación del fitoplanc-

ton en la columna de agua y sedimentos. El material zooplanctónico es menos susceptible a la degradación por la alta velocidad de asentamiento asociada a la formación de pelets fecales y macroagregados, por lo que la profundidad y la diagénesis en la columna de agua deben ser importantes en la composición orgánica de los sedimentos. El aumento en la contribución relativa de la fuente terrígena en las regiones profundas se debe probablemente a la baja reactividad de los ácidos grasos terrígenos y a su transporte desde el Delta del Río Colorado (Chávez-Vargas, 1997).

Los resultados de Chávez-Vargas (1997) sugieren la presencia de tres comunidades bacterianas y que estas tres comunidades contribuyen significativamente en el contenido de ácidos grasos totales en los sedimentos (46-62%). El grupo bacteriano A se caracterizó por la predominancia del ácido graso monoinsaturado 16:1 ω 9t y los ácidos grasos ramificados a-15:0 y a-17:0; las bacterias del grupo B se caracterizaron por la predominancia de los ácidos grasos monoinsaturados i-15:0, i-16:0 e i-17:0 y el grupo bacteriano C [bacterias sulfatoreductoras] por los ácidos grasos monoinsaturados 18:1 ω 9c y 18:1 ω 9t y por el ácido graso ramificado 10Me16:0. La contribución de la fuente bacteriana A varió en el intervalo de 13% a 22%, con un mayor aporte para las regiones de la cuenca Wagner y la cuenca Delfín. Los aportes de la fuente bacteriana B estuvieron en el intervalo de 11% a 20%; la costa de Baja California y la cuenca Wagner presentaron los mayores porcentajes de esta

fuentes seguidas por el alto Golfo. Lavín *et al* (1995) registraron concentraciones de oxígeno disuelto mayores de 6 ml l⁻¹ para las regiones someras del norte del Golfo de California, por lo que Chávez-Vargas sugiere que probablemente las bacterias B tengan preferencia por sedimentos bien oxigenados. Los aportes de las bacterias sulfatoreductoras variaron entre 21% y 31% y la costa de Sonora tuvo el mayor porcentaje de esta fuente. De acuerdo con Chávez-Vargas, estas tres comunidades reflejan condiciones óxicas en las regiones del Alto Golfo y costa de Baja California y anóxicas en los sedimentos de las regiones de la costa de Sonora. Los resultados de este autor indican que la actividad bacteriana y la diagénesis en los sedimentos del norte del Golfo de California es intensa.

Por otro lado, Aguiñiga-García (1999) determinó las fuentes principales de material orgánico y su distribución espacial en el delta del río Colorado mediante análisis de isótopos estables, composición elemental de carbono y nitrógeno, ácidos grasos totales y ácidos grasos de fosfolípidos en sedimentos. Dos regiones fueron identificadas con base en el contenido de ácidos grasos totales, la costa de Sonora y la costa de Baja California. Las fuentes de material orgánico fueron de origen marino, organismos microheterótrofos y material orgánico terrígeno. Los sedimentos superficiales de la costa de Sonora tuvieron aportes orgánicos en el orden fitoplancton (45%)> bacterias (25%)> zooplancton (19%). En la costa de Baja California, en la región influenciada por la

descarga de la cuenca estuarina, dominaron aportes de organismos zooplanc-
tónicos (34%)> fitoplanctónicos (25%) y terrígenos (25%); el resto de las
estaciones estuvieron dominadas por bacterias (40%), donde predominaron
biomarcadores de fuentes anaerobias. La biomasa bacteriana presentó los
valores más altos en la costa de Baja California, decreciendo hacia la costa de
Sonora.

Con base en los PLFA's se determinó el contenido de bacterias en los
sedimentos superficiales de la región del delta del río, variando de 9.3×10^8 cel
 g^{-1} sedimento seco a 4×10^9 cel g^{-1} sedimento seco (Aguíñiga-García, 1999). En
los sedimentos superficiales del delta se encontraron mayores contribuciones
de organismos heterótrofos y una menor contribución de microeucariontes y
material terrígeno. Se determinaron dos ambientes en los sedimentos de la
región del delta, organismos heterótrofos anaerobios y sulfatoredutores en
mayor proporción en el área influenciada por la descarga de la cuenca estuari-
na correspondiente al canal y costa de Baja California. Las bacterias aerobias
estuvieron presentes mayormente en la costa sonorense. Aguíñiga-García
sugiere que la influencia de la descarga intermitente de agua y sedimento por
el canal y costa de Baja California es uno de los factores que caracterizan la
mayor contribución de ácidos grasos bacterianos. El mayor contenido de ácidos
grasos polinsaturados y monoinsaturados 16:1 ω 9c, 18:1 ω 9c, 16:1 ω 9t y 18:1 ω 7t
en la costa de Sonora determinó que sea estadísticamente diferente a la costa

de Baja California, ya que es un ambiente sedimentario bien definido, con condiciones aerobias que permiten la presencia de los ácidos grasos monoin-saturados característicos de bacterias aerobias.

2. OBJETIVOS

Determinar la distribución de la biomasa bacteriana en la región norte del Golfo de California con base en los ácidos grasos asociados a fosfolípidos.

Conocer la estructura de la comunidad bacteriana a nivel de grupos funcionales en los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California.

2.1. *Hipótesis*

Existen por lo menos tres tipos de comunidades bacterianas en los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California, las cuales reflejan diferentes condiciones ambientales.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California se ubica en la costa occidental de México, entre los 25° y 32° N de latitud y 107° y 115° O de longitud. Tiene una longitud aproximada de 1000 km y un ancho de 100 a 200 km (Secretaría de Gobernación, 1998). La parte norte del Golfo de California (Figura 1) es esencialmente una plataforma continental, con profundidades máximas en el canal de Ballenas (1500 m), en la Cuenca Delfín (800 m) y en la Cuenca Wagner (200 m). Las partes más someras en la cabeza del Golfo están en el lado este y oeste del área del Delta del Río Colorado y en las zonas costeras (Hernández-Méndez, 1998).

Santamaría-del-Angel *et al.* (1994) mediante análisis de imágenes de satélite del CZCS, dividieron el NGC en siete regiones biogeográficas con base en las variaciones espaciales y temporales de la biomasa fitoplanctónica de noviembre de 1978 a junio de 1986. Dichos autores distinguieron el Alto Golfo y una región al norte de la Isla Tiburón que presentaron mayor biomasa que la región central y la región de la costa oeste y al norte de la Isla Angel de la Guarda. Las concentraciones máximas de pigmentos de 36 mg m⁻³ se observaron en la región I, localizada en el Alto Golfo, y las mínimas de 0.04 mg m⁻³ en la región IV, ubicada al norte de la Isla Angel de la Guarda (Santamaría-del-Angel *et al.*, 1994). Otros estudios de Chl 'a' establecen valores superficiales

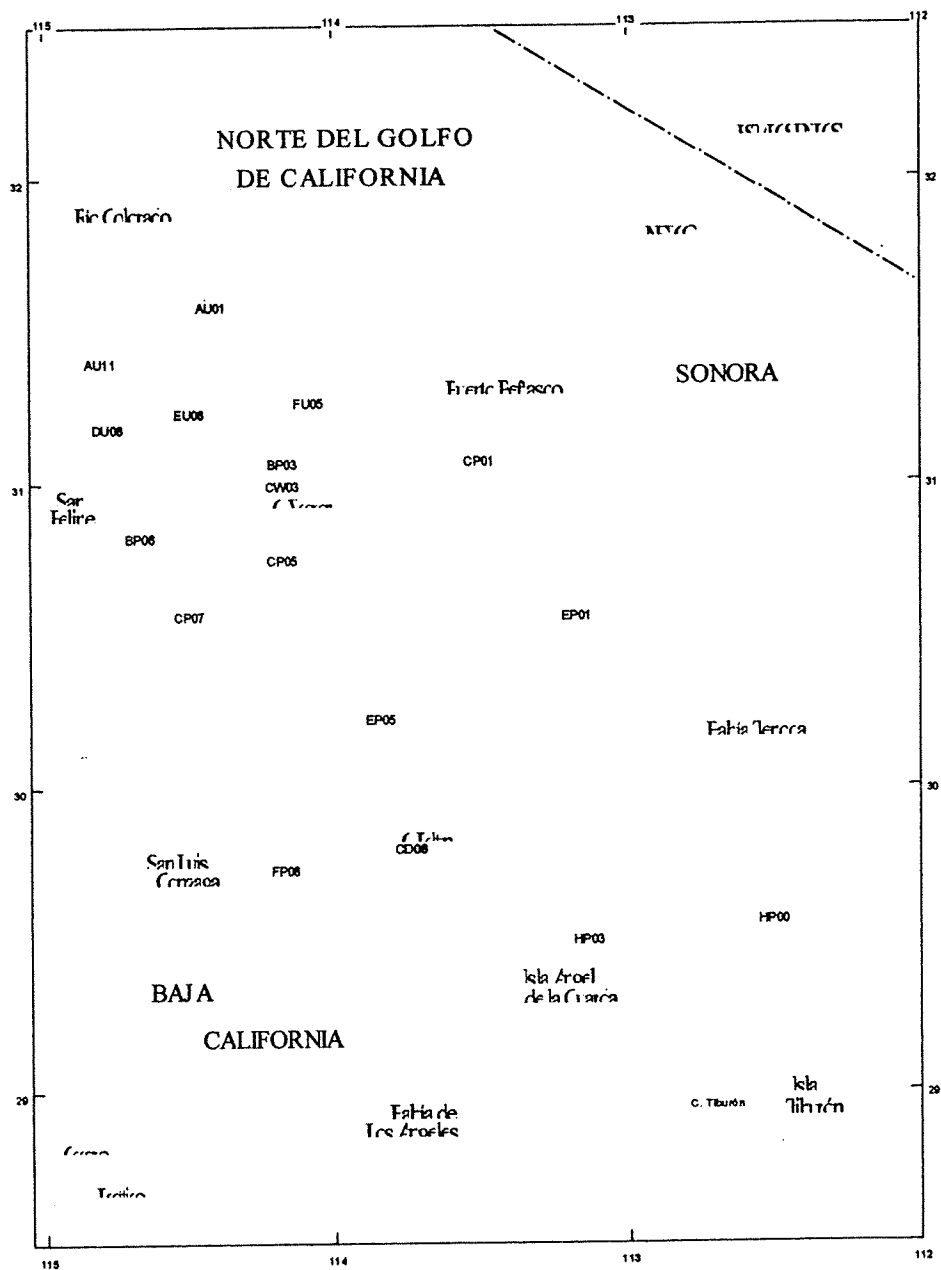


Figura 1. Localización del área de estudio y las 17 estaciones de muestreo de sedimentos superficiales.

de 40 mg m^{-3} en regiones de las costas de Baja California y Sonora (Gendrop-Funes, 1978) y valores de $\sim 3 \text{ mg m}^{-3}$ en el área de las grandes islas (Gaxiola-Castro *et al.*, 1995).

La circulación general del norte del Golfo de California está determinada por las mareas, vientos, distribución de densidad, intercambio de calor y agua con la atmósfera y el Océano Pacífico (Lavín *et al.*, 1997a). En invierno la circulación es anticiclónica, mientras que en verano la circulación es ciclónica (Lavín *et al.*, 1997b).

Sánchez-González (1997) hizo un estudio sobre las fuentes de sedimento y su dispersión en el norte del Golfo de California (NGC). Con base en las propiedades texturales de los sedimentos determinó tres facies sedimentarias: la facie arcillosa, localizada a lo largo del margen oeste del NGC; la facie de arenas finas, en el margen este del alto Golfo (AGC) hasta la región sur del NGC y la facie de limos arcillosos y/o arenosos, cubriendo el margen sonorense y la zona central sur del NGC. Existe un transporte neto de sedimentos en dirección N-S a lo largo de las plataformas continentales oeste y este del NGC, y un movimiento dominante de sedimentos en dirección NE-SW del litoral de Sonora a la costa de Baja California.

4. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. *Colecta del sedimento superficial*

En agosto de 1995 se hicieron dos cruceros oceanográficos GAGO-1 y GAGO-2, a bordo de los buques oceanográficos Francisco de Ulloa y El Puma. Se escogieron 17 estaciones de las 42 muestreadas, estas están ubicadas entre el delta del Río Colorado y la isla Angel de la Guarda (Fig. 1). La colecta de sedimentos se hizo con una draga tipo Van Veen, se tomaron los dos primeros centímetros de sedimento y se almacenaron a -20 °C en frascos de vidrio de 250 ml. Las muestras se analizaron en el laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Investigaciones Oceanológicas.

4.2. *Procedimiento Analítico*

El análisis de los fosfolípidos se hizo según el método reportado por Baird y White (1985). El método consta de tres etapas: extracción, purificación e identificación y cuantificación.

La cristalería se lavó con jabón Micro, se enjuagó con agua destilada y desionizada, y se calcinó a 400 °C por cuatro horas. Antes de utilizarse la cristalería, se enjuagó con metanol, una mezcla de diclorometano-metanol y finalmente con diclorometano.

4.2.1. Extracción de los lípidos totales

Se pesaron ~30 g de sedimento ya homogenizado. La muestra se colocó en un sistema Soxhlet y se extrajo durante ~24 hr con una mezcla de diclorometano-metanol (1.8:1 v/v). El extracto se transfirió a un embudo de separación y se mezcló con una solución de NaCl 5%, se agitó y se esperó hasta la aparición de dos fases. La fase de diclorometano se transfirió a un embudo de separación y se lavó de nuevo con la solución de NaCl. El extracto orgánico se concentró y se dejó en Na_2SO_4 anhidro por 12 hrs.

Se tomó 1 ml del extracto lipídico total (ELT) y se transfirió a un vial de 4 ml, se secó con N_2 y después se agregaron 500 μl de cloroformo. El ELT se transfirió a una columna de extracción y se enjuagó con 10 ml de cloroformo, 5 ml de acetona y 5 ml de metanol, para obtener tres fracciones: hidrocarburos, glicolípidos y fosfolípidos respectivamente, las cuales se colectaron en tubos de 15 ml con tapón de plástico con teflón. La fracción de hidrocarburos se guardó a baja temperatura para su posterior análisis, los glicolípidos se desecharon y la fracción de fosfolípidos fue la que se empleó.

4.2.2. Purificación

El tubo con la fracción de PLFA's se secó con N₂, se agregó 1ml de mezcla tolueno-metanol y 7 µL de surrogado (C:19 [1250 ng/µL]). Se adicionó 1 mL de solución de KOH-metanol 0.2 M, 2 mL de mezcla hexano-cloroformo [4:1] y 200 µL de solución de ácido acético glacial 1N, se agitó en vortex. Se determinó el pH de la solución que contiene PLFA's empleando papel pH, si la solución estaba en pH 6-7 así quedaba; si no, se agregaban 25 µL de ácido acético glacial hasta obtener el pH requerido. Se adicionaron 2 mL de agua desionizada (previamente extraída) al tubo con fracción de PLFA's y se centrifugó a 2000 r.p.m. durante 5 minutos.

La fracción de PLFA's (fase orgánica) se transfirió a un tubo de 15 mL, se le agregaron 2 mL de mezcla hexano-cloroformo [4:1] y se centrifugó a 2000 r.p.m. durante 10 minutos. La fase orgánica se pasó a un tubo de 15 mL y el procedimiento se realizó tres veces. La fase orgánica se secó con N₂, se agregaron 0.5 mL de hexano y se transfirió a un vial de 2 mL, se hicieron tres enjuagues. Al vial de 2 mL se adicionaron 7 µL de estándar interno (C:20 [1250 ng/µL]), se secó con N₂ y se llevó a un volumen conocido (20 µL hexano) para su cuantificación.

4.2.3. Identificación y cuantificación de PLFA's

Los PLFA's fueron analizados con un cromatógrafo de gases (GC) Hewlett Packard 5890 Serie II, con detector de ionización de flama (FID). El GC está conectado a un integrador Perkin Elmer PE NELSON modelo 1020 LC (*plus*). La separación se realizó con una columna capilar de 30 m·0.32 d.i. HP-5 (Hewlett-Packard), se utilizó H₂ como gas transportador. La temperatura del detector fue de 300 °C y la del inyector de 250 °C. La rampa de temperatura inició a 100 °C por 1.5 minutos y se incrementó 3.5 °C/minuto hasta llegar a 300 °C, permaneció a esta temperatura durante 15 minutos.

4.3. Cálculo de la biomasa microbiana

La biomasa microbiana se calculó mediante el uso de los siguientes factores de conversión: la bacteria promedio, del tamaño de *Escherichia coli*, contiene 100 μ moles de PLFA por gramo_(peso seco) y 1 g de bacteria es equivalente a 5.9×10^{12} células. 1 mol de PLFA's (equivalente al C16:0) son 256 gramos de PLFA's, cada célula bacteriana tiene 1.7×10^{-17} moles de PLFA, que corresponden a 4.3×10^{-9} μ g de PLFA g⁻¹_(peso seco) (White *et al.*, 1979; Mancuso *et al.*, 1990; Rajendran *et al.*, 1992b).

4.4. Procesamiento de los datos

Se emplearon dos métodos estadísticos para el procesamiento de los datos: 1) Análisis de Grupo y 2) Análisis Factorial.

4.4.1. Análisis de Grupo (AG)

El AG modo-R tiene como objetivo agrupar los PLFA's identificados en los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California y representarlos en orden jerárquico en un dendograma (Sicre *et al.*, 1988). Para el análisis se empleó como medida de distancia el coeficiente de correlación de Pearson r ($1-r$ Pearson) (Davis, 1986), para el agrupamiento se utilizó el método de aglomeración de unión completa.

El AG en modo-Q se utilizó para agrupar las estaciones de muestreo. Para calcular la matriz similitud entre las estaciones se utilizó como medida de distancia las distancias Euclidianas (Davis, 1986), y para el agrupamiento el método de aglomeración de unión completa.

4.4.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)

El propósito del ACP en modo-R utilizando los PLFA's fue reducir la dimensionalidad de los datos en el menor número posible de factores y poder determinar los principales grupos bacterianos en los sedimentos superficiales del área de estudio. La extracción de los factores se hizo por medio de un análisis de componentes principales. Los componentes fueron rotados por medio de la rotación Varimax, esta maximiza las varianzas de las cargas de los factores, tiende a dar valores cercanos a 1, -1 o 0 (Davis, 1986).

4.4.3. Razones entre ácidos grasos

Se calculó la razón entre los PLFA's i+a15:0/16:0, los resultados de esta razón son un indicador de la abundancia de bacterias en los sedimentos (Mancuso *et al.*, 1990; Rajendran *et al.*, 1994); la razón *trans/cis* del ácido graso 16:1 ω 9, indica si los microorganismos han estado expuestos a estados de inanición o anóxia (Guckert *et al.*, 1985; Findlay *et al.*, 1990a; Mancuso *et al.*, 1990). Esta razón para la mayoría de los cultivos bacterianos y los sedimentos se ha encontrado que es menor a 0.1 (Gillan and Hogg, 1984; Guckert *et al.*, 1985; Nichols *et al.*, 1986 y Perry *et al.*, 1979). Razones mayores a 1 se han determinado durante estados de inanición (Mancuso *et al.*, 1990). La razón

de PLFA's monoinsaturados(<19)/PLFA's ramificados, nos da una idea de la dominancia relativa de poblaciones bacterianas en el área de estudio. Una razón menor a 1 indica que las bacterias anaerobias dominan en la zona, mientras que una razón mayor a 1 indica la predominancia de bacterias aerobias (Rajendran *et al.*, 1994).

Los análisis estadísticos fueron hechos con el paquete STATISTICA para Windows versión 5.0.

5. RESULTADOS

5.1. Ácidos grasos en el NGC

En las muestras de sedimento superficial analizadas del NGC se identificaron un máximo de 32 ácidos grasos. La concentración, expresada como porcentaje del total de ácidos grasos en cada muestra, se presenta en la tabla 2. En promedio, el ácido graso saturado 16:0 fue el más abundante (15%), seguido de los ácidos grasos monoinsaturados 18:1w9 (9%) y 16:1w7 (8%), así como de las formas anteiso de los ácidos grasos ramificados a-17:0 (9%) y a-15:0 (7%) (Tabla 2).

Con base en los estudios de Rajendran *et al.* (1992b) y Rajendran *et al.* (1994), los ácidos grasos se clasificaron en 6 grupos: saturados pares (≤ 18), saturados impares (≤ 19), saturados (> 20), ramificados, monoinsaturados y polinsaturados (Tabla 3). Los ácidos grasos que presentaron mayor contenido en todas las muestras fueron los monoinsaturados ($> 24\%$) y los ramificados ($> 25\%$). Ambos grupos representan un promedio de 61% del total de los PLFA's. Los ácidos grasos saturados impares (≤ 19) presentaron valores menores a 4%. Ácidos grasos de cadenas largas (> 20) y los ácidos grasos polinsaturados estuvieron presentes en las muestras en porcentajes bajos ($< 10\%$). En promedio, el orden de abundancia por grupo fue: ramificados $>$ monoinsatura-

Tabla 2. Composición porcentual de PLFA's en las muestras de sedimento y concentración total de PLFA's en cada muestra.

	Estaciones																
PLFA	AU01	AU11	DU08	EU08	FU05	BP03	BP06	CD06	CW03	CP01	CP05	CP07	EP01	EP05	FP08	HP00	HP03
i-14:0	1.9	1.5	1.5	2.2	1.5	2.9	1.5	1.8	1.6	1.9	1.1	2.0	1.4	2.3	1.9	2.1	1.4
14:0	6.0	5.1	5.0	3.1	2.8	5.1	3.5	5.1	3.8	3.2	2.6	4.8	2.7	5.0	4.0	4.5	3.9
i-15:0	6.1	5.8	6.9	7.0	6.4	7.4	7.3	4.5	5.6	5.4	5.1	10.6	6.3	5.0	5.8	4.7	5.1
aC15:0	4.2	4.5	5.5	5.9	7.1	8.0	5.2	8.6	7.5	4.9	6.0	8.0	5.8	9.2	7.6	5.6	8.1
15:0	2.3	2.5	2.4	2.2	1.7	2.0	2.2	1.6	1.7	2.3	1.9	2.1	1.6	2.0	1.7	2.0	1.7
i-16:0	2.6	3.0	2.9	2.9	2.5	2.0	2.8	2.1	2.3	2.2	3.1	3.3	2.5	2.2	2.5	2.6	2.2
16:1w7	9.8	7.0	8.5	6.3	9.8	7.9	7.3	8.5	8.5	6.4	5.5	8.3	7.3	7.9	8.1	7.0	9.5
16:1w9c	0.7	1.0	0.8	1.0	1.2	1.3	0.6	1.2	1.1	0.9	1.1	1.2	0.9	1.0	1.2	1.1	1.1
16:1w9t	1.9	2.0	2.0	2.5	3.2	3.5	1.9	4.4	3.7	2.3	2.9	3.0	2.4	3.9	3.1	2.5	4.6
16:0	18.2	18.1	19.9	16.1	15.2	12.5	17.6	13.9	14.6	13.6	12.1	17.1	16.4	14.6	13.2	15.5	13.5
10-Me16:0	2.6	4.2	4.0	5.4	6.8	4.1	4.1	3.1	4.1	4.7	4.2	5.6	5.8	5.2	3.3	4.2	3.9
i-17:0	1.7	2.5	2.0	2.4	2.1	2.1	2.4	1.4	2.1	1.7	2.0	2.8	2.1	1.6	1.6	1.8	1.4
aC17:0	9.3	9.4	1.7	2.1	2.2	8.7	13.5	7.1	2.2	21.0	20.6	1.2	15.9	3.6	10.8	5.3	10.7
17:1	1.5	2.0	1.6	2.1	2.7	2.2	1.8	2.1	2.6	2.0	2.2	2.3	2.0	3.2	1.6	1.8	2.6
17:0	1.8	1.9	1.9	2.1	1.9	1.5	1.9	1.9	2.1	1.6	1.8	1.8	2.5	2.2	1.4	2.0	1.7
18:2w9,12	1.3	1.8	1.5	2.2	1.5		1.2	1.3	1.1	1.1	1.0	1.7	1.3	1.8	1.3	1.4	1.0
18:1w7	6.1	4.6	5.5	5.3	5.4	4.7	5.2	5.5	6.7	5.3	5.0	5.3	4.5	6.1	4.7	4.9	5.6
18:1w9	9.5	7.2	9.8	9.5	13.2	7.8	9.0	8.7	11.4	9.8	7.3	8.8	9.9	9.5	8.2	11.0	9.3
18:3	1.9	1.3	2.7	2.0	2.2	2.0	2.1	5.7	2.5	1.9	4.2	2.2	1.4	2.6	3.1	4.6	3.3
18:0	4.9	3.8	4.3	4.5	3.8	3.2	4.4	3.0	4.1	3.5	2.8	3.3	3.7	4.6	2.9	4.1	2.8
20-PUFA	1.6	2.1	1.7	4.5	0.9	3.0	0.5	2.5	2.8	2.0	0.5	1.4	1.8	1.5	2.2	1.8	2.2
20:0	0.8	1.3	0.9	1.5	0.9	1.9	0.9	1.2	1.0	0.8	1.2	0.8	0.7	3.1	1.0	0.8	0.7
21:0	0.3	1.1	0.4	1.2	0.6	1.0	0.6	0.7	0.5	0.8	1.3	0.6	0.4	2.8	0.6	1.5	0.4
22-PUFA	0.3		0.3	0.9	0.5	3.1	0.5	0.3	0.8		1.1	0.7			0.6	1.1	0.4
22:0	0.5	0.8	0.5	1.1			0.5	0.7	0.7	0.7				1.4	0.5		0.5
23:0															0.3		
24:0	0.6	1.8	0.6	1.7		1.6	0.4	1.4	0.6		1.6	0.6			0.5		0.4
26:0	0.6	2.5	1.8	2.4		0.4	0.5	0.9	0.6							1.8	
27:0		1.1	0.4					0.6	0.8						0.6		
28:0			0.9		0.8				2.4		2.9					2.7	1.2
29:0			1.4		0.6										1.7		
30:0	0.7						0.4		0.6						3.0	1.7	0.7
[μg·g ⁻¹ sed]	2	1	11	0.7	3	1	6	2	5	4	3	5	4	0.7	7	2	7
*Ácidos grasos más abundantes																	

*Ácidos grasos más abundantes

Tabla 3. Distribución porcentual de los diferentes grupos de PLFA's en los sedimentos.

Estación	% de ácidos grasos					
	Ácidos grasos saturados pares (≤ 18) ¹	Ácidos grasos saturados impares (≤ 19)	Ácidos grasos monoinsaturados (< 19)	Ácidos grasos ramificados	Ácidos grasos polinsaturados [PUFA]	Ácidos grasos saturados (> 20)
Grupo 1						
EP01	23	4	27	40	6	1
BP06	25	4	26	37	6	3
CP05	17	4	24	42	9	7
CP01	20	4	27	42	5	2
Grupo 2						
AU01	29	4	30	28	5	4
AU11	27	4	24	31	5	9
FP08	20	3	27	34	7	8
HP03	20	3	33	33	7	4
BP03	21	4	27	35	7	5
CD06	22	4	30	29	9	5
Grupo 3						
CP07	25	4	29	33	7	2
DU08	29	4	28	25	6	7
EU08	24	4	27	28	7	8
FU05	22	4	36	29	5	3
HP00	24	4	28	26	9	9
EP05	24	4	32	29	7	7
CW03	23	4	34	25	7	7
Máximo	29	4	36	42	9	9
Mínimo	17	3	24	25	1	5
Media	23	4	29	32	5	7
Dev. Std.	3	0.3	3	6	3	1

¹ El valor en paréntesis indica el número de átomos de carbono.

rados> saturados pares (≤ 18)> polinsaturados> saturados (> 20)> saturados impares (≤ 19).

En la tabla 4 se presentan las estaciones de muestreo que tuvieron los mayores porcentajes para cada uno de los grupos de PLFA's. Los ácidos grasos ramificados tuvieron valores máximos de 42% para las estaciones CP01 y CP05; para los ácidos grasos monoinsaturados (< 19) el máximo porcentaje fue de 35% (estación FU05). Las estaciones DU08 (29%), AU01 (29%) y AU11 (27%) tuvieron el mayor porcentaje de ácidos grasos saturados pares (< 19). Los ácidos grasos polinsaturados tuvieron concentraciones máximas de 9% (estaciones CD06, HP00 y CP05). Para los ácidos grasos de más de 20 átomos de carbono la concentración máxima fue de 9% (estaciones AU11 y HP00). Los ácidos grasos saturados impares (≤ 19) presentaron un promedio de 4% para todas las estaciones de muestreo.

5.2. Concentración total de PLFA's y biomasa microbiana

El contenido de PLFA's totales, biomasa, ácidos grasos totales, contenido de carbono orgánico y la profundidad para las estaciones de muestreo se presenta en la tabla 5. La concentración total de PLFA's varió de 0.7 $\mu\text{g/g}$ (estación EP05 y EU08) a 11 $\mu\text{g/g}$ (estación DU08).

Tabla 4. Estaciones con mayor porcentaje de cada uno de los grupos de PLFA's.

pares <19	%	imp<20	%
DU08	29	—	
AU01	29	X =	4
AU11	27		
monin<19	%	ramif	%
FU05	35	CP01	42
CW03	34	CP05	42
HP03	33	EP01	40
EP05	32	BP06	37
sat>20	%	PUFA	%
AU11	9	CD06	9
HP00	9	HP00	9
EU08	8	CP05	9
FP08	8		

Tabla 5. Estaciones de muestreo, PLFA's totales, biomasa, ácidos grasos totales (AGT), carbono orgánico (CO), profundidad (Z) y región.

Estación	PLFA's ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ sedimento)	Biomasa (10^8 cél. $\cdot\text{g}^{-1}$)	AGT $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (peso seco) ^a	CO (mgC $\cdot\text{g}^{-1}$ sedimento) ^a	Z (m)	Región ^b
AU01	2	5	53	6	11	AG
AU11	1	2	22	8	3	
DU08	11	25	54	7	8	
BP03	1	2	80	12	150	CW
CW03	5	11	96	16	212	
CP05	3	7	66	17	200	CD
EP05	0.7	2	66	38	400	
CD06	2	5	85	39	460	
FP08	7	16	50	15	180	
BP06	6	14	38	7	15	CoBC
EU08	0.7	2	26	5	18	
CP07	5	11	53	13	39	
HP03	7	16	20	7	285	CoS
CP01	4	9	40	16	35	
FU05	3	7	22	3	42	
HP00	2	5	95	18	47	
EP01	4	9	26	12	35	

AG, Alto Golfo; CW, Cuenca Wagner; CD, Cuenca Delfin; CoBC, Costa de Baja California y CoS, Costa de Sonora.

^a Tomado de Chávez-Vargas (1997).

^b Basado en la regionalización de Chávez-Vargas (1997).

La biomasa bacteriana varió de 2×10^8 células g^{-1} para las estaciones EP05 y EU08, a 25×10^8 células g^{-1} para la estación DU08. Si la suma de las abundancias relativas de los isómeros iso y anteiso del ácido graso 15:0 que representan el componente bacteriano de la comunidad, se dividen entre la abundancia relativa del ácido graso 16:0, el cual se encuentra en la mayoría de los organismos, el resultado da una idea de la proporción de bacterias en la muestra de sedimento en comparación con otras fuentes de ácidos grasos (Mancuso *et al.*, 1990). Esta razón varió de 0.6 (Estaciones AU01, AU11 y DU08) a 1.2 (Estación BP03) (Tabla 6). La razón *trans/cis* del ácido graso 16:1w9 varió de 2.0 a 4.1 en los sedimentos (Tabla 6), esto indica que los microorganismos estuvieron expuestos a un posible estrés fisiológico, ya que esta razón tiende a aumentar en los microorganismos durante estados de inanición o anoxia (Guckert *et al.*, 1985; Findlay *et al.*, 1990a; Mancuso *et al.*, 1990).

5.3. Agrupación de los ácidos grasos

De los 32 ácidos grasos presentes en las muestras de sedimento solo se emplearon los ácidos grasos de C_{15} a C_{18} monoinsaturados indicadores de procariontes aerobios y los ácidos grasos de C_{15} a C_{18} ramificados indicadores

Tabla 6. Valores de las razones PLFA's i+a 15:0/16:0, trans/cis de 16:1 ω 9 y PLFA monoinsaturado (<19)/PLFA ramificado, en los sedimentos superficiales del NGC para las 17 etaciones de muestreo.

Estación	i+a de 15:0/16:0	Forma trans/cis de 16:1 ω 9	PLFA monoinsat (<19)/PLFA ramificado
Grupo 1			
EP01	0.7	2.6	0.7
BP06	0.7	3.1	0.7
CP05	0.9	2.6	0.6
CP01	0.8	2.5	0.6
Grupo 2			
AU01	0.6	2.6	1.0
AU11	0.6	2.0	0.8
FP08	1.0	2.7	0.8
HP03	1.0	4.1	1.0
BP03	1.2	2.7	0.8
CD06	0.9	3.6	1.1
Grupo 3			
CP07	1.1	2.5	0.9
DU08	0.6	2.6	1.2
EU08	0.8	2.4	1.0
FU05	0.9	2.5	1.2
HP00	0.7	2.3	1.1
EP05	1.0	3.8	1.1
CW03	0.9	3.3	1.3

de procariontes Gram-positivos, bacterias sulfatoreductoras y otras bacterias anaerobias.

Se obtuvieron tres agrupaciones de PLFA's (Figura 3). El grupo 1 tuvo tres ácidos grasos monoinsaturados (18:1 ω 9, 18:1 ω 7 y 16:1 ω 7). El grupo 2 incluyó cinco ácidos grasos, tres monoinsaturados y dos ramificados (17:1, 16:1 ω 9c, 16:1 ω 9t, a-15:0 y 10Me16:0). El grupo 3 tuvo 4 ácidos grasos ramificados (i-15:0, i-16:0, i-17:0 y a-17:0).

5.3.1. El Análisis de componentes principales

En la figura 4 se observan los eigenvalores del análisis de componentes principales. Se tomaron todos aquellos componentes con eigenvalores mayores a 1.5, resultando un total de 3 componentes que explican el 72.4% de la varianza total de los datos. El primer componente principal explica el 34.7% de la varianza total. Se agruparon con carga positiva mayor a 0.6 los ácidos grasos monoinsaturados 16:1 ω 9c, 16:1 ω 9t, 17:1 y el ácido ramificado a-15:0. El segundo componente principal explica el 22% de la varianza total. Tuvieron carga positiva los ácidos grasos ramificados i-15:0, i-16:0, i-17:0 y 10Me16:0 y carga negativa el ácido graso polinsaturado 18:3. El tercer componente principal con el 15.7% de la varianza total agrupó con carga positiva a los

ácidos grasos monoinsaturados 16:1 ω 7, 18:1 ω 7 y 18:1 ω 9 y con carga negativa al ácido graso ramificado a 15:0 (Tabla 7, Figura 5).

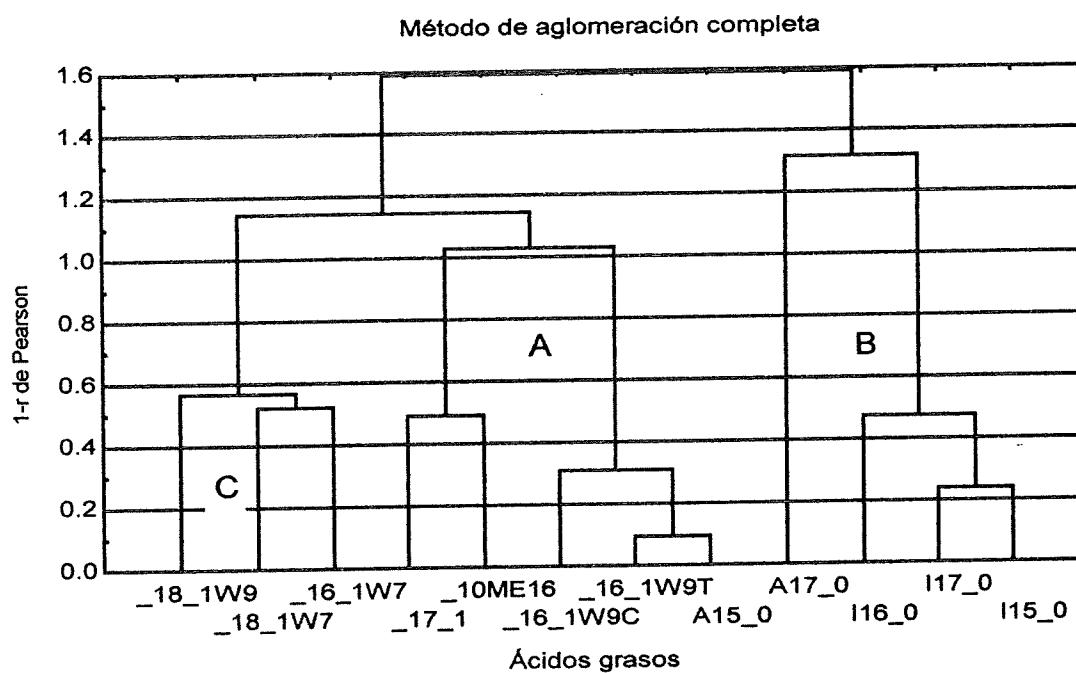


Figura 3. Dendrograma del AC modo-R para los ácidos grasos, obtenido a partir del coeficiente de correlación de Pearson ($1 - \text{Pearson } r$) y el método de aglomeración de unión completa.

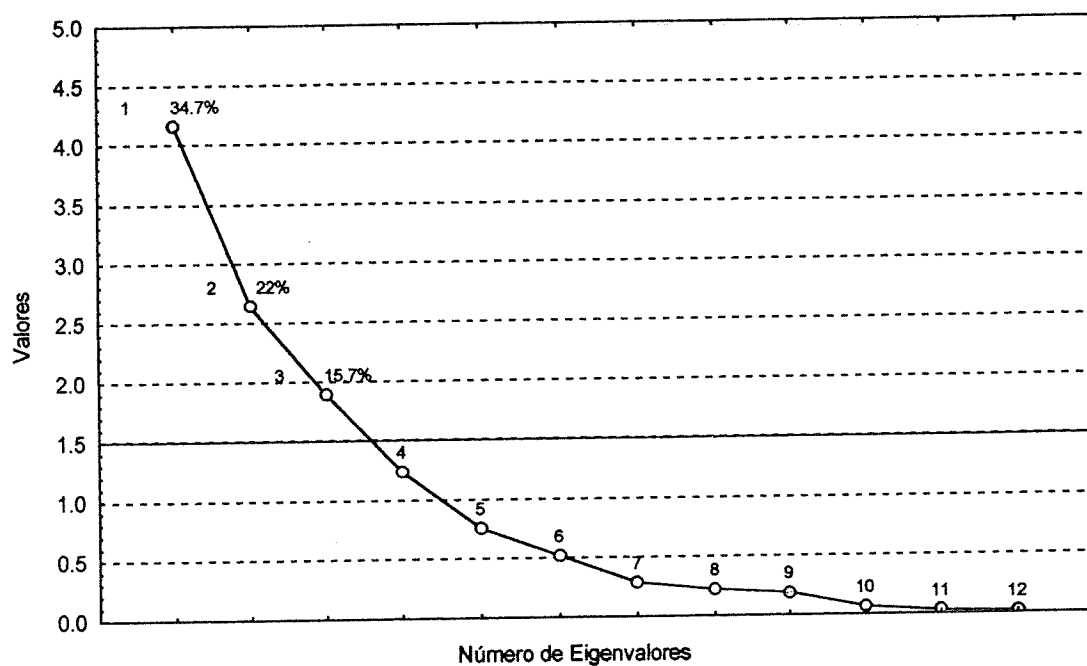


Figura 4. Representación gráfica de los eigenvalores y porcentaje total de la varianza del análisis factorial en modo-R para los ácidos grasos.

Tabla 7. Análisis Factorial en modo-R. Carga de los factores rotados para los ácidos grasos. Extracción por Componentes principales y rotación Varimax. Los tres factores explican el 72% de la varianza total.

Ácidos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
I15:0	-0.05	0.82*	0.07
A15:0	0.92*	-0.10	0.15
I16:0	-0.42	0.70*	-0.21
16:1 ω 7	0.15	-0.18	0.75*
16:1 ω 9 <i>cis</i>	0.86*	0.09	-0.14
16:1 ω 9 <i>trans</i>	0.89*	-0.36	0.14
10Me16:0	0.32	0.66*	0.16
I17:0	-0.17	0.92*	-0.12
A17:0	-0.28	-0.38	-0.67*
17:1	0.78*	0.06	0.29
18:1 ω 7	0.07	-0.25	0.78*
18:1 ω 9	0.05	0.05	0.78*
% Var. total	34.68	22	15.75

* Se tomaron todos aquellos valores >.600

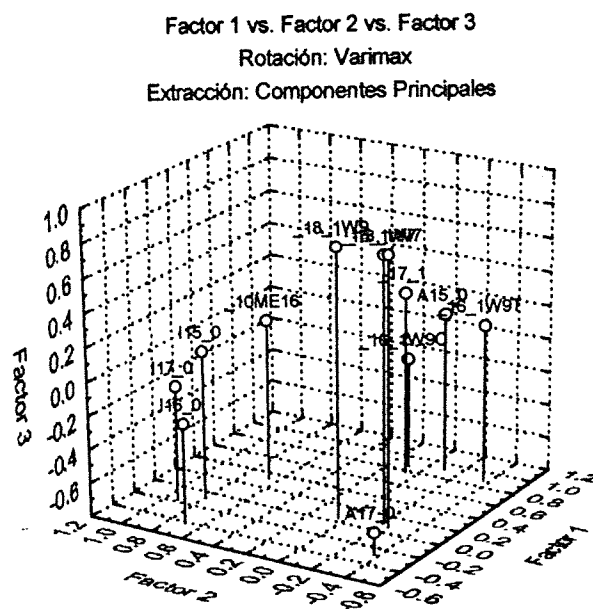


Figura 5. Representación gráfica de las cargas de los factores rotados para los ácidos grasos. Extracción por Componentes principales y rotación Varimax.

5.4. Clasificación de las estaciones de muestreo.

Para la clasificación de las 17 estaciones de muestreo se utilizó el análisis de grupo (Figura 6). Se determinaron tres grupos distintos en el norte del Golfo de California. El grupo 1 incluyó 4 estaciones: dos localizadas en la costa de Sonora, una en la cuenca Delfín y una en la costa de Baja California. El grupo 2 incluyó 6 estaciones: dos en el Alto Golfo, una en la costa de Sonora, una en la cuenca Wagner y dos en la cuenca Delfín. El grupo 3 tuvo 7 estaciones: una en el Alto Golfo, dos en la costa de Baja California, dos en la costa de Sonora, una en la Cuenca Wagner y una en la Cuenca Delfín (Tabla 8). En los tres grupos los ácidos grasos que más abundaron fueron los ramificados, seguidos de los monoinsaturados y los saturados pares (<19).

En promedio el grupo uno presentó el mayor porcentaje de ácidos grasos ramificados (40%) y el menor porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados (26%). En el grupo dos abundaron más los ácidos grasos ramificados (32%) que los monoinsaturados (28%). El grupo tres tuvo el mayor porcentaje de ácidos grasos moninsaturados (31%) y el menor porcentaje de ácidos grasos ramificados (28%). La distribución de los ácidos grasos saturados pares (<19) fue muy similar en los tres grupos de estaciones (21%-24%).

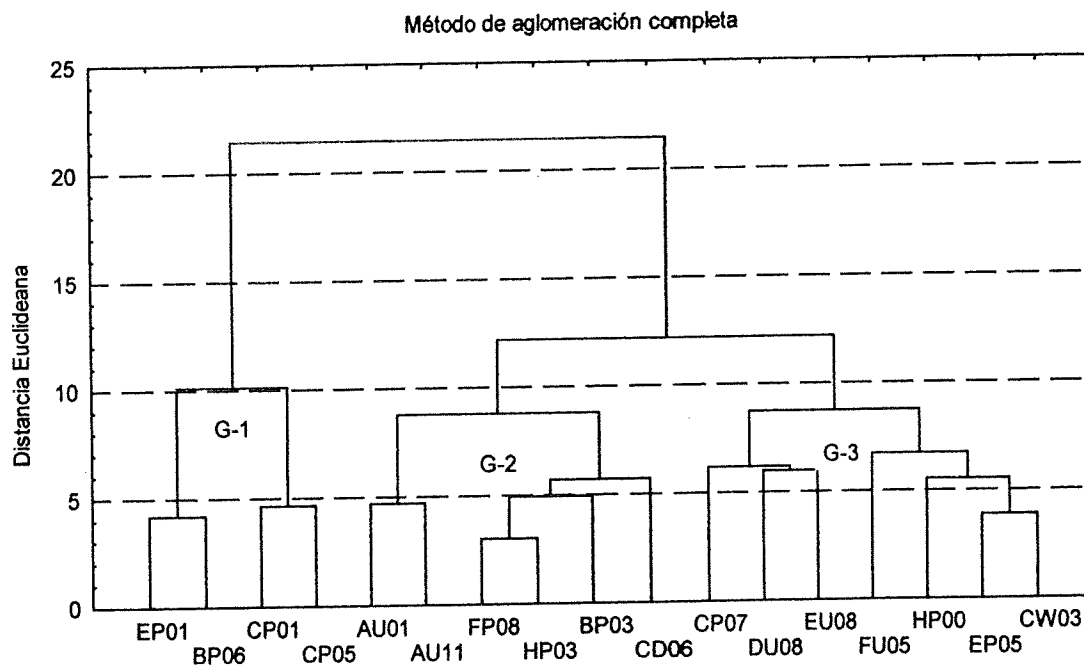


Figura 6. Dendrograma del AC modo-Q para las estaciones, obtenido a partir del método de aglomeración de unión completa y la distancia Euclídeana.

Tabla 8. Concentración porcentual de los grupos funcionales en cada estación de muestreo.

Estación	% de ácidos grasos			
	PUFA	Monoinsa- turados	Ramificados (14 a 16) ¹	Ramificados (17 a 19)
Grupo 1				
EP01	6	27	16	24
BP06	6	26	17	20
CP05	9	24	15	27
CP01	5	27	14	27
Grupo 2				
AU01	5	30	15	14
AU11	5	24	15	16
FP08	7	27	18	16
HP03	7	33	17	16
BP03	7	27	20	15
CD06	9	30	17	12
Grupo 3				
CP07	7	29	24	10
DU08	6	28	17	8
EU08	7	27	18	10
FU05	5	36	17	11
HP00	9	28	15	11
EP05	7	32	19	10
CW03	7	34	17	8
Máximo	9	36	24	27
Mínimo	5	24	14	8
Media	7	29	17	15
Dev. Std.	1	3	2	6

¹ El valor en paréntesis indica el número de átomos de carbono.

Las razones de los ácidos grasos monoinsaturados entre los ramificados confirma la abundancia relativa de poblaciones bacterianas en el área de estudio. Una razón menor a 1 indica la dominancia de bacterias anaerobias, una razón mayor a 1 indica la predominancia de bacterias aerobias (Rajendran *et al.*, 1994). En el área de estudio, esta razón varió de 0.6 a 1.3 (Tabla 6). En los grupos 1 y 2 la razón fue menor a 1, por lo que predominaron las bacterias Gram-positivas y las bacterias anaerobias, incluyendo a las sulfatoreductoras. El grupo 3 tuvo una razón mayor a 1 (excepto la estación CP07), lo que indica que los procariontes aerobios son los organismos más abundantes en la estructura de la comunidad bacteriana.

6. DISCUSIONES

6.1. Fuentes bacterianas de carbono sedimentario

En el presente estudio se realizó el análisis de PLFA's en sedimentos del norte del Golfo de California, ya que este método ha sido validado y empleado para determinar diferencias relativas en la estructura de comunidades microbianas. Otros trabajos relacionados con la variación de la comunidad microbiana en sedimentos marinos son los realizados por White *et al.* (1979), Baird y White (1985), Tunlid *et al.* (1989), Findlay *et al.* (1990a,b), Mancuso *et al.* (1990), Rajendran *et al.* (1992a y b), Rajendran *et al.* (1994), Findlay y Watling (1998).

En el presente trabajo los ácidos grasos monoinsaturados, característicos de microeucariontes y procariontes aerobios (Findlay y Dobbs, 1993), se consideraron como de origen únicamente bacteriano. Las bases para considerarlos solamente como biomarcadores de bacterias y no de microeucariontes fueron que en el área de estudio los ácidos grasos polinsaturados, indicadores de la presencia de biomasa viable de microeucariontes (Findlay y Dobbs, 1993) tuvieron abundancias relativas bajas ($\leq 7\%$). Además, la profundidad a la cual fueron tomadas las muestras, así como la alta turbidez del agua en algunas regiones como el Alto Golfo, limitan la penetración de la luz y hacen poco

probable la presencia de biomarcadores de microeucariontes viables en sedimentos del norte del Golfo de California. Existen otros sitios donde la suposición de que los PLFA's monoinsaturados solamente representan la presencia de bacterias no puede aplicarse. Por ejemplo, Findlay *et al.* (1998) determinaron la variación estacional de una comunidad microbiana bentónica y encontraron que tres grupos funcionales de microorganismos fueron los mas abundantes: los microeucariontes fotótrofos y dos grupos de bacterias anaerobias. En la serie de tiempo que realizaron determinaron que había dos períodos bien definidos, uno en que la temperatura del agua era fría ($<5^{\circ}\text{C}$), correspondiente a los meses de invierno y otro en que el agua era cálida ($\leq 20^{\circ}\text{C}$), para la época de verano. En el invierno predominaron los organismos eucariontes fotosintéticos, indicados por la alta abundancia de los ácidos grasos polinsaturados: 20:5 ω 3, 16:4 ω 1, 16:3, 22:6 ω 3 y 16:1 ω 13 *trans*. En especial el ácido graso 20:5 ω 3, el cual tuvo una abundancia relativa de 4 a 21% del total de ácidos grasos. En verano las bacterias anaerobias fueron las que dominaron ya que los ácidos grasos a-15:0, i-15:0, i-16:0 y 10Me16:0 tuvieron una alta abundancia. Estos autores proponen que las causas de este patrón son la respuesta de estos grupos microbianos a cambios en la intensidad de la luz, la cual afecta las tasas de crecimiento de los organismos fotótrofos, y la temperatura del agua, afectando la actividad de los heterótrofos.

Con base en el análisis de grupo para los PLFA's en el norte del Golfo de California (Fig. 3), se encontraron tres fuentes de carbono orgánico de origen bacteriano predominantes en los sedimentos superficiales, a las que se les llamó bacterias "tipo a", bacterias "tipo b" y bacterias "tipo c". Los resultados del análisis de componentes principales ratifican los tres grupos bacterianos encontrados.

El primer componente (Tabla 7), que representa el grupo bacteriano "tipo a", incluye ácidos grasos a15:0, 16:1 ω 9 *cis*, 16:1 ω 9 *trans* y 17:1. Parkes y Taylor (1983) y Volkman *et al.* (1980) determinaron que los ácidos grasos monoinsaturados están presentes en mayor cantidad en las bacterias aerobias. Por otro lado, Volkman *et al.* (1980), Findlay *et al.* (1990a) y Haack *et al.* (1994) reportaron que los ácidos grasos ramificados son más abundantes en las bacterias anaerobias. En particular, el ácido graso a15:0 se ha reportado como biomarcador de bacterias anaerobias por Findlay *et al.*, 1990a, Findlay y Dobbs, 1993; Zelles, 1997.

El segundo componente, representante del grupo bacteriano "tipo b", tuvo altas cargas en los ácidos grasos ramificados i-15:0, i-16:0, i-17:0 y 10Me16:0. Los ácidos grasos i-15:0, i-16:0 han sido reportados como biomarcadores de bacterias Gram-positivas y otras bacterias anaerobias (Findlay *et al.*, 1990a, Findlay y Dobbs, 1993; Zelles, 1997). Los ácidos grasos i-17:0 y a-17:0 se han reportado como biomarcadores de bacterias sulfatore-

ductoras y bacterias anaerobias (Findlay y Dobbs, 1993; Zelles, 1997), mientras que el ácido 10Me16:0 es un ácido graso característico del género *Desulfobacter* spp. (Parkes, 1980; Mancuso *et al.*, 1990; Zelles, 1997; Findlay y Watling, 1998). Colombo *et al.* (1996) reportaron a los ácidos grasos i-15:0 y a-15:0 como abundantes en bacterias sulfatoreductoras.

El tercer componente corresponde a las bacterias "tipo c", y tiene una alta carga en los ácidos grasos monoinsaturados 16:1 ω 7, 18:1 ω 7 y 18:1 ω 9, estos ácidos son biomarcadores de eucariontes y procariontes Gram-positivos (Findlay y Dobbs, 1993). En el factor tres, el ácido graso a-17:0 (biomarcador de bacterias sulfatoreductoras y bacterias anaerobias) presentó una carga negativa opuesta a la carga de los ácidos grasos monoinsaturados, confirmando que este factor incluye a las bacterias aerobias.

En síntesis, los resultados de los análisis de PLFA's indican la existencia de tres grupos funcionales bacterianos predominantes en el norte del Golfo de California. El grupo de bacterias "tipo b" corresponde predominantemente a bacterias anaerobias, Gram-positivas y sulfatoreductoras. El grupo de bacterias "tipo c" corresponde predominantemente a bacterias aerobias, mientras el grupo bacteriano "tipo a" aparentemente refleja un grupo transicional con una mezcla de bacterias aerobias y anaerobias. Cabe enfatizar que en todas las muestras se encontraron biomarcadores de todas las clases de bacterias, por lo que la clasificación en tres grupos refleja la predominancia en la abundancia

relativa de alguno de los tipos bacterianos, mas que la presencia exclusiva de unos y la ausencia de otros.

Los resultados del presente estudio corroboran las observaciones de Chávez-Vargas (1997) quien determinó que las bacterias son la principal fuente de ácidos grasos en la materia orgánica total de los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California. Este autor reportó tres grupos microbianos predominantes, uno de bacterias sulfatoredutoras y otros dos a los que identificó como bacterias A y B. El grupo correspondiente a las bacterias "A" incluyó a los ácidos a-15:0, a-17:0 y 16:1w9t, el grupo correspondiente a las bacterias "B" incluyó a los ácidos i-15:0, i-16:0 e i-17:0 y el grupo de sulfatoredutoras incluyó los ácidos 10Me-16:0, 18:1w9c y 18:1w9t. Resulta claro que, por lo menos, dos de los tres grupos obtenidos por Chávez-Vargas son equivalentes a dos grupos obtenidos en el presente estudio. Las diferencias entre ambos estudios se pueden explicar con base en la diferencia metodológica. Mientras que los análisis de Chávez-Vargas incluyen ácidos grasos tanto de material bacteriano vivo como detrítico (i.e. ácidos grasos de materia orgánica total), en el presente estudio se incluyen predominantemente ácidos grasos asociados a biomasa microbiana viva (ácidos grasos asociados a fosfolípidos). Por lo tanto, en cuanto a la determinación de la estructura de comunidades bacterianas el presente estudio se puede considerar como mas preciso.

Por otro lado, con base en análisis de PLFA's Aguíñiga-García (1999) encontró una mayor contribución de organismos heterótrofos y una menor contribución de microeucariontes y material terrígeno hacia los sedimentos superficiales para la región estuarina del río Colorado. Sin embargo, este autor encontró un promedio de 12% de ácidos grasos polinsaturados y de 7% de ácidos grasos saturados de cadena larga (>20 carbonos) lo cual indica que en esa región somera del norte del Golfo de California existe una proporción de biomasa viable de origen no-bacteriano mayor a la encontrada en el presente estudio, en el cual la contribución promedio de ácidos grasos polinsaturados fue menor (< 7%). La presencia de ácidos grasos de cadena larga en el presente estudio fue en promedio menor a 6%. Sin embargo, la presencia de estos ácidos grasos en la fracción fosfolipídica no representa biomasa viable de origen terrígeno, sino la presencia de ácidos grasos libres de cadena larga que pueden considerarse como "contaminantes" de la fracción fosfolipídica.

6.2. Regionalización del Golfo de California

Con base en los fosfolípidos asociados a los ácidos grasos de la membrana celular de las bacterias, el Golfo de California se dividió en tres regiones (Figura 7). La Región 1 fue la que tuvo en promedio el mayor porcentaje de ácidos grasos ramificados (40%) y el menor porcentaje de ácidos

grasos monoinsaturados (26%; Figura 8). En la Región 2, el contenido de ácidos grasos ramificados (32%) y monoinsaturados (28%) fue muy similar. En la Región 3 se presentó el máximo porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados (31%) y el menor porcentaje de ácidos grasos ramificados (28%). Los ácidos grasos saturados pares, a pesar de tener una contribución importante en las tres regiones, no se consideraron para el análisis ya que no son biomarcadores específicos de algún grupo funcional en particular, debido a que las membranas celulares de todos los microorganismos tienen porcentajes significativos de estos ácidos grasos, en especial el ácido palmítico (16:0).

La razón de PLFA's monoinsaturados entre PLFA's ramificados osciló entre 0.6 y 0.7 en la Región 1, indicando una predominancia de bacterias anaerobias. En la Región 2, esta razón fue mas cercana a 1 (0.8-1.1) por lo que la diferencia entre los dos grupos funcionales al parecer no es significativa. Para la Región 3, la razón fue en general >1 lo que indica que las bacterias aerobias fueron las dominantes (Tabla 6).

El uso de los fosfolípidos asociados a la membrana celular de las bacterias se ha considerado como una herramienta útil para determinar la biomasa y la estructura de comunidades en sedimentos marinos. El presente estudio permitió caracterizar las poblaciones bacterianas del norte del Golfo de California, sin embargo, la regionalización observada no estuvo bien definida y es difícil de explicar. En otros trabajos como los realizados por Rajendran *et al.*

(1992b y 1994) se observaron zonas de grupos bacterianos claramente definidas. Sin embargo, las áreas de estudio de dichos autores (la Bahía de Osaka y la bahía de Hiroshima) se caracterizan por la presencia de aportes de contaminantes hacia los sedimentos superficiales. Dichos aportes generan gradientes espaciales muy marcados en las características de los sedimentos, lo cual resulta en gradientes muy marcados en la distribución de las comunidades microbianas.

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo y los resultados de estudios similares (Mancuso *et al.*, 1990; Rajendran *et al.*, 1992b y 1994), se puede concluir que este método de determinación de comunidades microbianas tiene mejor resolución en zonas que presenten gradientes mas marcados en las condiciones ambientales que permitan obtener una discriminación más clara de los grupos bacterianos.

En contraste con el presente estudio, Chávez-Vargas (1997) clasificó la parte norte del Golfo de California en seis regiones geográficamente mas coherentes: Alto Golfo, Costa de Sonora, Cuenca Wagner, Cuenca Delfín, Costa de Baja California y Cuenca Tiburón a partir de la distribución de los ácidos grasos totales. Sin embargo, los resultados de Chávez-Vargas estuvieron fuertemente determinados por los biomarcadores fitoplanctónicos y terrígenos mas que los bacterianos. Por lo tanto, la comparación de las regionalización observada en ambos estudios es mas limitada. Además, por la dificultad

de los análisis de PLFA's, en el presente estudio únicamente se analizaron 17 muestras de sedimentos en contraste con las 42 muestras analizadas por Chávez-Vargas, lo cual permitió a este último obtener una mejor resolución en la clasificación.

En el presente estudio la Región 2 representa una zona de transición que incluye bacterias tanto aerobias como anaerobias. Esta Región incluyó los sedimentos del Alto Golfo de California (Figura 7), los cuales fueron estudiados previamente con mayor detalle por Aguíñiga-García (1999). Los análisis de PLFA's reportados por Aguíñiga García indican la predominancia de bacterias anaerobias en la región oeste del Alto Golfo de California mientras que en la región este predominan los microheterótrofos aerobios. Este autor sugiere que las condiciones anóxicas pueden estar asociadas a la alta descarga de sedimentos de la cuenca estuarina y a las relativamente bajas velocidades de corrientes de marea que ocurren por el canal y costa de Baja California. Por otro lado, la mayor dinámica en la costa de Sonora favorece el establecimiento de condiciones óxicas y en consecuencia de poblaciones microbianas aeróbicas en los sedimentos de esta zona. Por lo tanto, para esta región del Alto Golfo en particular los resultados del presente estudio son consistentes con lo previamente reportado.

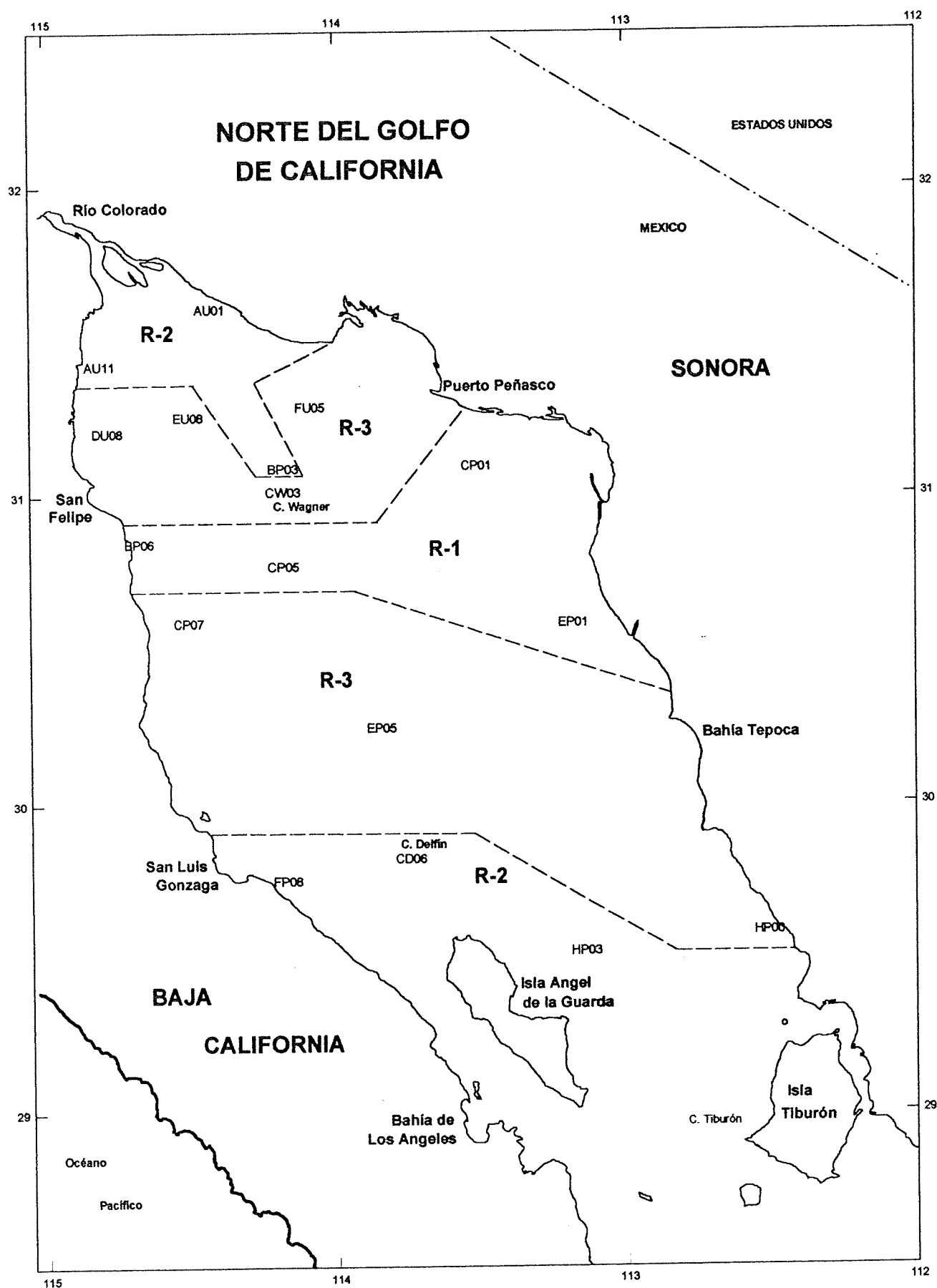


Figura 7. Regionalización del norte del Golfo de California.

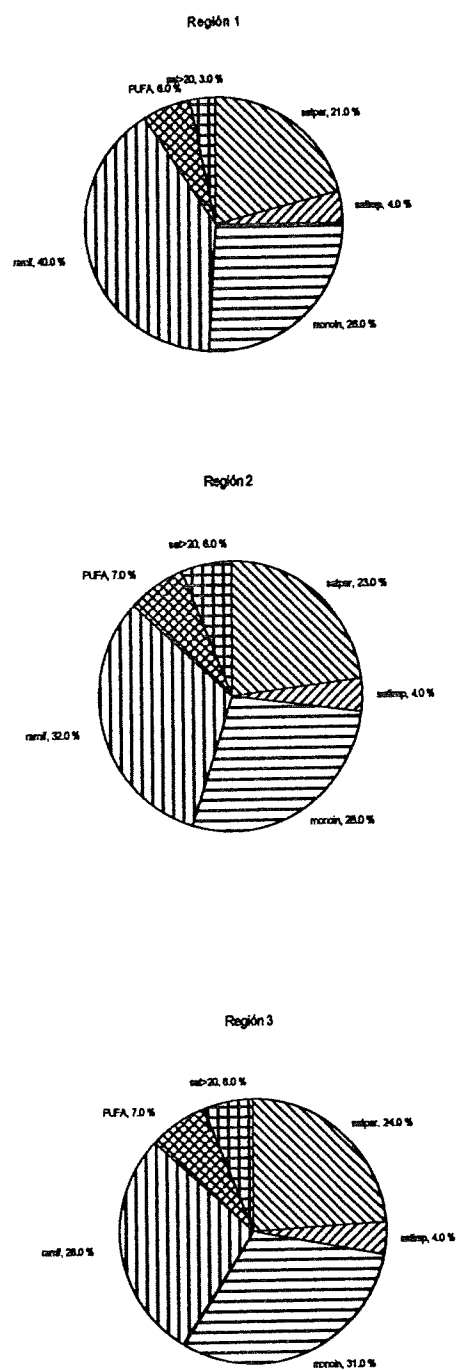


Figura 8. Distribuciones porcentuales de los diferentes grupos de PLFA's para las regiones del norte del Golfo de California.

6.3 Biomasa microbiana.

La concentración total de PLFA's en el sedimento es un indicador de la cantidad de biomasa viable (White *et al.*, 1988), por lo que diferencias en la concentración total de PLFA's son un indicador de variaciones en las biomásas de las comunidades que aportan los lípidos. En el norte del Golfo de California el contenido de biomasa bacteriana estuvo en el intervalo de 1×10^8 células g^{-1} a 2.4×10^9 células g^{-1} . Estos valores son aparentemente típicos de sedimentos marinos ya que son similares a los reportados por otros autores para sedimentos superficiales. Por ejemplo, Mancuso *et al.* (1990) reportaron valores de biomasa microbiana para los sedimentos de un ecosistema antártico en el intervalo de 0.06×10^8 células g^{-1} a 4.2×10^9 células g^{-1} , mientras que Rajendran *et al.* (1994) reportaron valores entre 0.25×10^8 células g^{-1} y 1.35×10^8 células g^{-1} para sedimentos costeros contaminados de la bahía de Osaka. Por su parte, Aguiñiga-García (1999) determinó valores de biomasa bacteriana entre 9.3×10^8 células g^{-1} y 4×10^9 células g^{-1} para la región deltáica del río Colorado, valores similares a los obtenidos en este trabajo.

Desde una perspectiva regional, los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que los sedimentos en la costa oeste del Golfo de California tienen un mayor contenido de biomasa microbiana, seguidos de los sedimentos de la costa este y finalmente la región central (Tabla 5 y Figura 9). Esta

distribución está probablemente determinada por el contenido de partículas finas en los sedimentos, el cual es mayor en la región costera cercana a Baja California (Carriquiry *et al.*, sometido). Carriquiry y Sánchez (1999) proponen un modelo para la hidrodinámica de los sedimentos en el delta del río Colorado y norte del Golfo de California. El transporte de sedimento es de NE-SW, de la costa de Sonora donde el oleaje es importante, hacia la costa de Baja California generándose un centro de depositación o "depocentro". Dicho depocentro se localiza alrededor de la estación DU08 (Fig. 9) donde se encontró el valor máximo de biomasa bacteriana. Sánchez-González (1997) determinó que en la costa de Baja California los sedimentos son predominantemente arcillosos, en la costa de Sonora son limos arcillosos y/o arenosos y en la región central son arenas finas.

Observaciones similares al presente estudio fueron realizadas por Rajendran *et al.* (1992a) quienes en un estudio sobre la bahía de Hiroshima determinaron que la biomasa microbiana y la concentración total de PLFA's era mayor en los sedimentos costeros que en los sedimentos de la región central de la bahía.

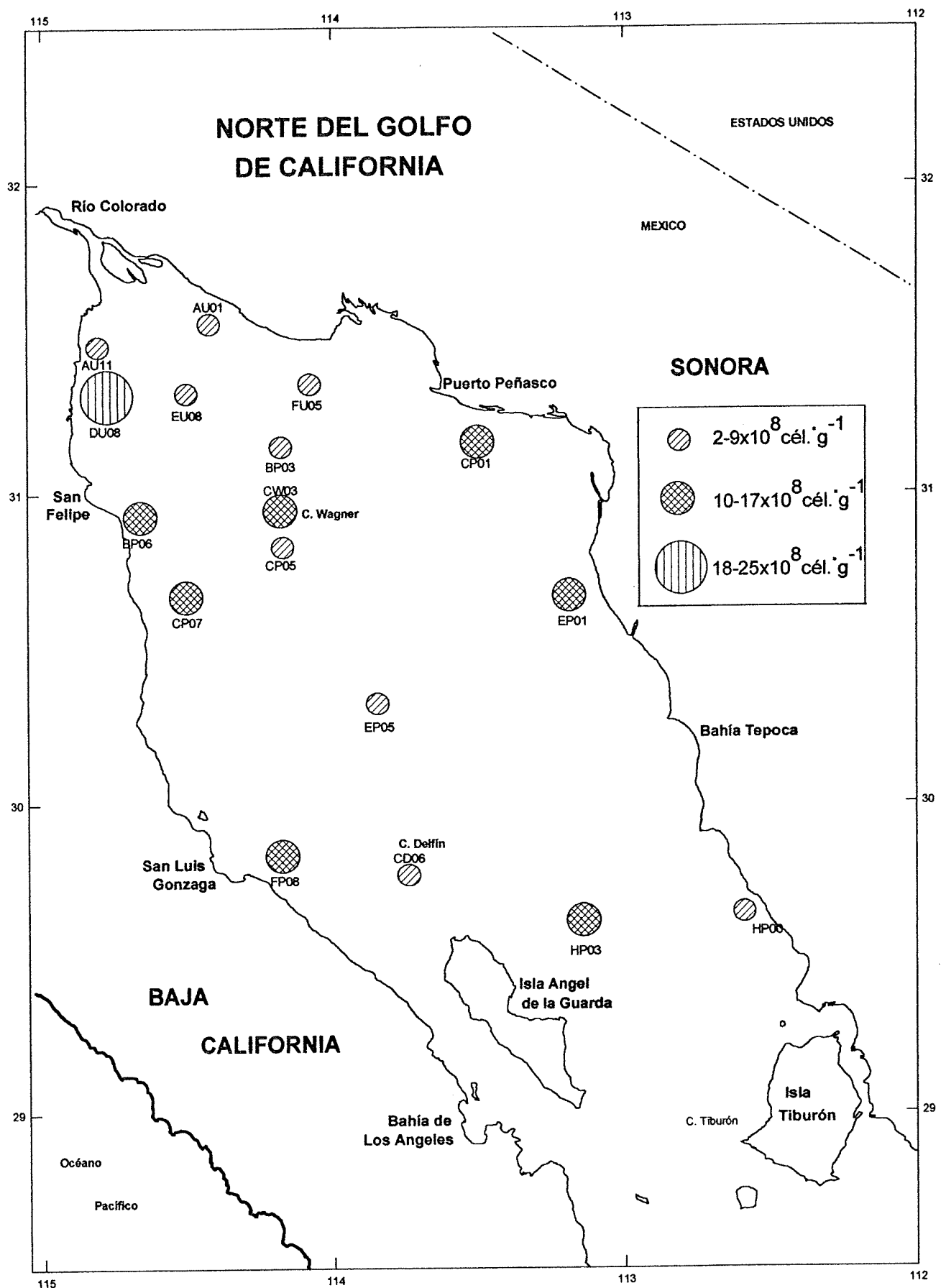


Figura 9. Contenido de biomasa microbiana en las estaciones de muestreo.

6.4. Estado fisiológico de las comunidades bacterianas

Diversos autores han empleado las razones *trans/cis* de ácidos grasos monoinsaturados para determinar el estado fisiológico de los microorganismos en sedimentos acuáticos. Esta razón se ha encontrado que es menor a 0.1 para la mayoría de los cultivos bacterianos y los sedimentos que presentan condiciones "ideales" para el crecimiento bacteriano (Perry *et al.*, 1979; Gillan and Hogg, 1984; Guckert *et al.*, 1985 y Nichols *et al.*, 1986). Por otro lado, se ha reportado que una razón mayor a 1 indica que los organismos estuvieron expuestos a algún tipo de estrés (Rajendran *et al.*, 1992b; Rajendran *et al.*, 1994) o inanición (Mancuso *et al.*, 1990). Findlay *et al.* (1990a) realizaron un estudio para determinar la respuesta de una comunidad microbiana ante perturbaciones y encontraron una diferencia significativa entre los sedimentos control y los sedimentos alterados. La razón *trans/cis* indicó que la comunidad en estudio estuvo bajo estrés metabólico, el cual pudo ser causado por inanición o anóxia. Rajendran *et al.* (1992b) encontraron valores para la razón *trans/cis* del ácido graso 16:1 ω 9 en el rango de 0.1 a 0.2, lo que les sugirió que las bacterias estuvieron expuestas a algún estrés fisiológico, el cual atribuyeron a la contaminación y a la escasa circulación del agua que favorece condiciones anóxicas en las bahía de Hiroshima. Rajendran *et al.* (1994) determinaron valores para la razón *trans/cis* de 0.07 a 0.2 en la bahía de

Osaka, sitio caracterizado por la presencia de descargas domésticas e industriales a través de dos ríos localizados en la parte NE. Estos autores encontraron que en las zonas donde se localizaban las descargas la razón era mayor, mientras que para las partes más alejadas a estas la razón disminuyó.

En el norte del Golfo de California la razón fue mayor a 0.1 (intervalo de 2 a 4), por lo que el ácido graso *trans* en los sedimentos superficiales fue más abundante (1.9 a 4.6%) que el ácido graso *cis* (0.6 a 1.3%). La presencia de condiciones ambientales extremas como inanición, bajos niveles de oxígeno, incremento de la temperatura o gran movilidad del sustrato, promueven la producción de ácido graso *trans* (Findlay y Dobbs 1993). Sánchez-González (1997) determinó que existe un transporte neto de sedimentos y materiales en dirección N-S a lo largo del margen este y oeste del Golfo de California, además de un movimiento dominante de sedimentos en dirección NE-SW de la costa de Sonora a la de Baja California. La constante resuspensión y deposición de sedimentos en la región puede ser una de las causas de los elevados valores de ácidos grasos *trans*. Por otro lado, Aguíñiga-García (1999) encontró valores entre 0.2 y 1.2 para los sedimentos el Alto Golfo de California. Este autor sugiere como posible productor de ácidos grasos *trans* a la resuspensión y deposición de sedimento, que es característico de la zona del Alto Golfo de California.

Findlay *et al.* (1990a) hicieron un estudio para determinar la respuesta de una comunidad microbiana a ser perturbada. Determinaron que la respuesta inmediata a la perturbación fue una disminución en la tasa de crecimiento y un cambio en el estatus metabólico hacia la síntesis de fosfolípidos mientras que la biomasa no se afectó. Unas horas después, la tasa de crecimiento aumentó y la biomasa microbiana disminuyó hasta en un 75% y a las 8 horas del experimento la biomasa regresó a su nivel inicial. Una de sus conclusiones fue que los grupos de PLFA's asociados con grupos funcionales de microorganismos varían en su respuesta a la perturbación. Con este estudio se ve la importancia que tiene una perturbación en la ecología de la comunidad microbiana del bentos.

El presente estudio fue realizado en el Golfo de California durante condiciones de verano; en esta época del año la temperatura del agua es más elevada, por lo que no se descarta la posibilidad de que en otra estación del año cuando las condiciones del medio ambiente cambien, pueda existir un cambio en las comunidades microbianas.

7. CONCLUSIONES

En este estudio se encontraron grupos bacterianos en los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California correspondientes a (1) bacterias anaerobias Gram-positivas y bacterias sulfatoreductoras, (2) bacterias aerobias y (3) un grupo mixto de bacterias anaerobias y aerobias.

Los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California se clasificaron en tres regiones. La Región 1 representa condiciones anóxicas, la Región 2 condiciones tanto óxicas como anóxicas, y la Región 3 condiciones óxicas. Sin embargo, la distribución espacial de estas regiones no es tan clara como lo reportado por otros autores (Rajendran *et al.*, 1992 a y b; 1994) donde los gradientes de las comunidades bacterianas son mas claros, posiblemente debido a que en dichos estudios los gradientes de las propiedades fisicoquímicas (temperatura, pH, Eh, sulfuro) del sedimento son mas marcados.

La dinámica de los sedimentos superficiales del norte del Golfo de California juega un papel importante en la distribución de la biomasa bacteriana, determinando mayores biomasas en las regiones costeras y menores en la región central.

8. LITERATURA CITADA.

- Aguíñiga-García, S., 1999. Geoquímica de la cuenca estuarina del río Colorado: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales. Tesis de Doctorado. FCM-IIO-UABC. 155 pp.
- Baird, B. H., and D. C. White, 1985. Biomass and community structure of the abyssal microbiota determined from the ester-linked phospholipids recovered from Venezuela Basin and Puerto Rico Trench sediments. *Marine Geology*. 68: 217-231.
- Bray, N. A., 1988. Water mass formation in the Gul of California. *Journal of Geophysical Research*. 93: 9223-9240.
- Boschker, H. T. S., S. C. Nold, P. Wellsbury, D. Bos, W. de Graaf, R. Pel, R. J. Parkes, and T. E. Cappenberg, 1998. Direct linking of microbial populations to specific biogeochemical processes by ^{13}C -labelling of biomarkers. *Nature*. 392: 801-805.
- Carriquiry, J. D., Sánchez A., 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. *Marine Geology*. 158: 125-145.
- Chávez-Vargas, J. A., 1997. Ácidos grasos como biomarcadores de las fuentes de carbono orgánico a los sedimentos superficiales de la parte norte del Golfo de California. Tesis de Maestría. FCM-IIO-UABC. 87 pp.

- Colombo, J. C., N. Silverberg and J. N. Gearing, 1996. Changes in composition of fatty acids, sterols and aliphatic hydrocarbons during early diagenesis. *Organic Geochemistry*, 26: 257-274.
- Davis, J. C., 1986. Statistics and data analysis in geology. Second Ed. John Wiley and Sons. New-York. 646 pp.
- Doumenq, P., M. Acquaviva, L. Asia, J. P. Durbec, Y. Le Dréau, G. Mille, J. C. Bertrand, 1999. Changes in fatty acids of *Pseudomonas nautica*, a marine denitrifying bacterium, in response to *n*-eicosane as carbon source and various culture conditions. *FEMS Microbiology Ecology*. 28: 151-151.
- Findlay, R. H. and F. C., Dobbs, 1993. Quantitative description of microbial communities using lipid analysis. IN: P. F. Kemp, B. F. Sherr, E. B. Sherr and J. J. Cole (eds). *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*.
- Findlay, R. H., G. M. King, and L. Watling, 1989. Efficacy of phospholipid analysis in determining microbial biomass in sediments. *Applied Environmental Microbiology*. 60: 2888-2893.
- Findlay, R. H., M. B. Trexler, D. C. White, 1990a. Response of a benthic microbial community to biotic disturbance. *Marine Ecology Progress Series*. 62: 135-148.
- Findlay, R. H., L. Watling, 1998. Seasonal variation in the structure of a marine benthic microbial community. *Microbial Ecology*. 36: 23-30.
- Gaxiola-Castro, G., J. García-Córdova, J. E. Valdéz-Holguín and M. Botello-Ruvalcaba, 1995. Spatial distribution of chlorophyll "a" and primary

productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California.

Cont. shelf Res. 15: 1043-1059.

Gendrop-Funes, V., M. J. Acosta-Ruiz y R. A. Schawartzlose, 1978. Distribución horizontal de clorofila "a" durante la primavera en la parte norte del Golfo de California. Ciencias Marinas. 5: 71-89.

Gillan, F. T., R. W. Hogg, 1984. A method for the estimation of bacterial biomass and community structure in mangrove-associated sediments. Journal of Microbial Methods. 2: 275-293.

Guckert, J. B., C. P. Antworth, P. D. Nichols y D. C. White, 1985. Phospholipid ester-linked fatty acid profile as reproducible assays for changes in procaryotic community structure of estuarine sediments. FEMS Microbiology. Ecology. 31: 147-158.

Haack, S. H., H. Garchow, D. A. Odelson, L. J. Forney, and M. J. Klug, 1994. Accuracy, reproducibility, and interpretation of fatty acid methyl ester profiles of model bacterial communities. Applied and Environmental Microbiology. 60: 2483-2493.

Hernández-Méndez, M. A., 1998. Modelo batimétrico digital del Golfo de California y la margen occidental de la península de Baja California: una herramienta oceanográfica. Tesis de Licenciatura. FCM-UABC. 89 pp.

Lavín, M. F., E. Beier y A. Badan, 1997a. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. En: Lavín M. F.

- (ed). Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana; 141-171.
- Lavín, M. F., R. Durazo, E. Palacios, M. L. Argote, and L. Carrillo, 1997b. Lagrangian observations of the circulation in the northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*. 27: 2298-2305.
- Lavín, M. F., G. Gaxiola-Castro and J. M. Robles, 1995. Winter water mass and nutrients in the northern Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. 100: 8587-8605.
- Mancuso, C. A., P. D. Franzmann, H. R. Burton, and P. D. Nichols, 1990. Microbial community structure and biomass estimates of a methanogenic antarctic lake ecosystem as determined by phospholipid analyses. *Microbial Ecology*. 19: 73-95.
- Millero, F. J., 1996. *Chemical Oceanography*. CRC Press, Second Edition.
- Nichols, P. D., A. C. Palmisano, G. A. Smith, D. C. White, 1986. Lipids of the antarctic sea ice diatom *Nitzschia cylindrus*. *Phytochemistry*. 25: 1649-1653.
- Parkes, R. J., 1980. Analysis of microbial communities within sediments using biomarkers. In: M. Fletcher, T. R. G. Gray and J. G. Jones (eds). *Ecology of Microbial Communities Great Britain*. 147-177.
- Parkes, R. J., and J. Taylor, 1983. The relationship between fatty acid distributions and bacterial activity types in contemporary marine sediments. *Estuarine Coastal Shelf Science*. 16: 173-189.

- Perry, G. J., J. K. Volkman, R. B. Johns, H. J. Bavor, 1979. Fatty acids of bacterial origin in contemporary marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 43: 1715-1725.
- Rajendran, N., O. Matsuda, N. Imamura and Y. Urushigawa, 1992a. Determination of microbial biomass and its community structure from the distribution of phospholipid ester-linked fatty acids in sediments of Hiroshima bay and its adjacent bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 34: 501-514.
- Rajendran, N., O. Matsuda, N. Imamura and Y. Urushigawa, 1992b. Variation in microbial biomass and community structure in sediments of eutrophic bays as determined by phospholipid ester-linked fatty acids. *Applied and Environmental Microbiology*. 58: 562-571.
- Rajendran, N., O. Matsuda, N. Y. Urushigawa and U. Simidu, 1994. Characterization of microbial community structure in the surface sediments of Osaka bay, Japan, by phospholipid fatty acid analysis. *Applied and Environmental Microbiology*. 60: 248-257.
- Sánchez-González, A., 1997. Procedencia y dispersión de los sedimentos en el norte del Golfo de California. Tesis de Maestría. FCM-IIO-UABC. 62 pp.
- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego, F. E. Müller-Karger, 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99: 7411-7421.

- Secretaría de Gobernación, 1988. Islas del Golfo de California. Secretaría de Gobernación/UNAM editores.
- Sicre, M. A., J. L. Paillasseur, J. C. Marty and A. Saliot, 1988. Characterization of seawater samples using chemometric methods applied to biomarker fatty acids. *Organic Geochemistry*. 12: 281-288.
- Tunlid, A., D. Ringelberg, T. J. Phelps, C. Low and D. C. White, 1989. Measurement of phospholipids fatty acids at picomolar concentrations in biofilms and deep subsurface sediments using gas chromatography and chemical ionization mass spectrometry. *Journal of Microbiological Methods*. 10: 139-153.
- Volkman, J. K., R. B. Johns, F. T. Gillan, G. J. Perry and H. J. Bavor, 1980. Microbial lipids of an intertidal sediment-I. Fatty acids and hydrocarbons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 44: 1133-1143.
- White, D. C., 1988. Validation of quantitative analysis for microbial biomass, community structure and metabolic activity. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limnol.* 31: 1-18.
- White, D. C., W. M. Davis, J. S. Nickels, J. D. King, and R. J. Bobbie, 1979. Determination of the sedimentary microbial biomass by extractable lipid phosphate. *Oecologia*. 40: 51-62.
- Zelles, L., 1997. Phospholipid fatty acid profiles in selected members of soil microbial communities. *Chemosphere*. 275-294.