



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

ESTUDIO MONOGRAFICO ACERCA DE LA MICROBIOLOGIA
MARINA

MONOGRAFIA

Que para obtener el título de:
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
p r e s e n t a :

FERNANDO B. IZQUIERDO VICUÑA

1 9 8 1



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN

EL TEMA.

PRESIDENTE Prof. Alfredo Echegaray Alemán

VOCAL Prof. Beatriz Luna Millan

SECRETARIO Prof. Olga Velazquez Madrazo

1er. SUPLENTE Prof. Mártha Jimenez Castañeda

2o. SUPLENTE Prof. Biserka Sveshtarova Pekarkova

Sitio donde se desarrollo el tema:

Biblioteca del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

Biblioteca del Instituto de Biología

Biblioteca de la Facultad de Química

SUSTENTANTE:

Fernando B. Izquierdo Vicuña

Izquierdo V.

ASESOR DEL TEMA:

Q.F.B. Olga Velazquez Madrazo

*Vo Bo.
Olga Velazquez Madrazo*



**DEPTO. DE PASANTES Y
EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

**A MIS PADRES con cariño y agradecimiento por todo lo que han
hecho por mí..**

**A MI ABUELO PATERNO de quien guardo uno de los recuerdos
más antiguos que poseo.**

A MI ABUELO MATERNO a quien extraño mucho

**A MIS DOS ABUELAS, TIOS Y HERMANOS por quererme y apoyar
me en todo momento.**

**A TODOS MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS por brindarme su cariño
y amistad.**

A OLGA

y muy especialmente:

**A MI TIA JULIA que me dió todo su cariño y a quien siempre
tengo presente.**

Quiero hacer patente mis más sincero

agradecimiento a la Profa. :

Q.F.B. Olga Velázquez M.

por su ayuda prestada y por su valiosa

dirección en la realización de este trabajo.

**" Nunca subestimes el poder de
los microorganismos"**

INDICE

Capítulo I. INTRODUCCION	5
1.1 Antecedentes Históricos	8
Capítulo II. ASPECTOS FISICOS Y QUIMICOS DEL MEDIO AMBIENTE MARINO	
2.1 Extensión y Profundidad	13
2.2 Características Del Suelo Marino	14
2.3 Composición química del agua de mar	16
2.3.1 Substancias inorgánicas disueltas	16
2.3.1.1 Salinidad	17
2.3.2 Gases disueltos	19
2.3.3 Substancias orgánicas disueltas	22
2.4 Propiedades físicas del agua de mar	22
2.4.1 Distribución de la Salinidad	23
2.4.2 Distribución de la temperatura	24
2.4.3 Densidad del agua de mar	26
2.4.4 Presión	28
Capítulo III. LAS BACTERIAS Y OTROS MICROORGANISMOS MARINOS	
3.1 Bacterias	31
3.1.1 Generalidades	31
3.1.2 Clasificación de las formas marinas	42
3.2 Hongos	56
3.2.1 Generalidades	56
3.2.2 Clasificación de los hongos marinos	59
3.3 Algas	63
3.3.1 Generalidades	63
3.3.1.1 Morfología	64
3.3.1.2 Pigmentos	65
3.3.1.3 Nutrición	65
3.3.2 Clasificación	69
3.3.2.1 Cyanophycophyta	70
3.3.2.2 Bacillariophycophyta	73
3.3.2.3 Pyrrophyphyta	75
3.3.2.4 Cryptophycophyta	77
3.3.2.5 Chrysophycophyta	78
3.3.2.6 Rhodophycophyta	80
3.3.2.7 Xanthophycophyta	81
3.3.2.8 Phaeophycophyta	81
3.3.2.9 Euglenophycophyta	82
3.3.2.10 Chlorophycophyta	83
3.4 Protozoarios	84
3.4.1 Sarcodina o Rizópodos	84
3.4.1.1 Foraminífera	85
3.4.1.2 Radiolaria	86
3.4.1.3 Heliozoa	87

3.4.2 Ciliata	87
3.4.2.1 Tintinnina	87
3.4.2.2 Otros ciliados	88
3.4.3 Flagellata	88
3.5 Virus	89

Capítulo IV. DISTRIBUCION DE LOS MICROORGANISMOS EN EL OCEANO

4.1 Introducción	92
4.2 Distribución en el agua marina	94
4.3 Distribución en los sedimentos marinos	103
4.4 Métodos de muestreo	105
4.5 Métodos de cuantificación	117

Capítulo V. INFLUENCIA DE LOS FACTORES FISICOS Y QUIMICOS DEL MEDIO

SOBRE LOS MICROORGANISMOS MARINOS

5.0 Introducción	126
5.1 Luz	127
5.2 Temperatura	131
5.3 Presión	137
5.4 Turbidez	144
5.5 pH y Potencial redox	146
5.6 Salinidad	147
5.7 Substancias inorgánicas	152
5.8 Substancias orgánicas	155

Capítulo VI. INFLUENCIA DE LOS FACTORES BIOLOGICOS SOBRE LOS

MICROORGANISMOS MARINOS

6.1 Competencia por los nutrientes	158
6.2 Los microorganismos como alimento de otros organismos	160
6.3 Crecimiento de los microorganismos en superficies	167
6.4 Microorganismos marinos como parásitos	169
6.5 Microorganismos marinos como simbioses	173

Capítulo VII. EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS MARINOS EN LOS

CICLOS DE LOS ELEMENTOS EN EL AGUA

7.1 Introducción	179
7.2 Producción de materia orgánica	180
7.3 Descomposición de la materia orgánica	184
7.4 El ciclo del nitrógeno	192
7.4.1 Fijación del nitrógeno molecular	193
7.4.2 Amonificación y nitrificación	196
7.4.3 Desnitrificación	200

7.5 El ciclo del azufre	204
7.6 El ciclo del fósforo	212
7.7 Los ciclos del hierro y el manganeso	214

Capítulo VIII. LOS MICROORGANISMOS Y LA CONTAMINACION DEL AGUA

8.1 Introducción	220
8.2 Patógenos en el agua	220
8.3 El papel de los microorganismos en la autopurificación del agua	225
8.4 Efecto de los contaminantes ambientales sobre los microorganismos marinos	229

Capítulo IX. LOS MICROORGANISMOS MARINOS Y EL PETROLEO

Glosario	245
----------	-----

Mapas	247
-------	-----

Bibliografía	249
--------------	-----

CAPITULO I

INTRODUCCION

INTRODUCCION

En los últimos años la Oceanografía ha tenido un gran auge como ciencia y dentro de ella la Microbiología marina ha adquirido una importancia muy especial.

Una de las razones por las que escribo este trabajo, es que he notado que en las universidades del país no se le concede la debida importancia a esta rama de la Microbiología. Tanto los programas de enseñanza como los de investigación se refieren principalmente a la rama médica de la Microbiología, lo cual es comprensible dada su importancia para el bienestar del hombre; pero conforme el estudio de la Microbiología Médica ha resuelto algunos de los problemas inmediatos, como son los problemas de salud, surgen la inquietud y la necesidad de ampliar los horizontes del conocimiento hacia otras ramas de la Microbiología, que en forma menos directa pero no menos importante afectan también el bienestar del hombre. Tal es el caso de la Microbiología Agrícola, de la Microbiología Industrial y también de la Microbiología Marina que tiene un gran potencial de aplicación en un futuro próximo en campos tan importantes como la Ecología, la Nutrición, la producción de antibióticos, la degradación de desperdicios y recuperación de compuestos, la piscicultura, etc.

Considero que en la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo que se imparte en la U.N.A.M. (y seguramente en otras carreras similares) la actualización de planes y programas de estudio pronto tendrá que tomar en cuenta esta rama de la Microbiología.

El objetivo de este trabajo ha sido hacer una recopilación de los conocimientos actuales sobre Microbiología Marina para introducir a profesores,

alumnos y a otras personas que puedan interesarse, en el estudio de las características, importancia y relaciones de los microorganismos marinos y para plantear las posibilidades de aplicación de esta importante rama de la ciencia.

Un ejemplo de la importancia de la Microbiología Marina, es el hecho de que los ecosistemas oceánicos constituyen la mayor parte de la Tierra; representan más del 70% de la superficie del planeta y un volumen, proporcionalmente mayor que el de la tierra ya que los abismos y depresiones en el mar son mucho mayores que las elevaciones y picos de la tierra; además cualquier profundidad es accesible para los organismos vivos. Haciendo a un lado las algas marinas que se encuentran alrededor de las costas, la mayor parte de las plantas acuáticas son microscópicas. Se han establecido un gran número de argumentos sobre si la biomasa de las plantas terrestres es mayor que la de las plantas marinas y hasta se ha llegado a calcular su magnitud; parece como si ambas magnitudes fueran del mismo orden, pero la velocidad de renovación es mucho más rápida en el mar que en la tierra de manera que la transformación total de la energía es mucho más rápida en el océano.

Respecto a las bacterias y hongos marinos que son organismos -- esencialmente heterotróficos, ellos juegan un papel similar y complementario, para la vida acuática, al que desempeña el fitoplancton. El fitoplancton puede llevar a cabo la fotosíntesis y, consecuentemente, produce sustancias orgánicas. La contribución de las bacterias y hongos consiste en destruir el material orgánico y asegurar el retorno más rápido posible de los nutrimentos inorgánicos más importantes al ciclo de la materia, de manera que las plantas verdes puedan producir nuevas sustancias orgánicas. Es por esto que la Limnología y la Oceanografía no son comprensibles sin tomar en cuenta a la Microbiología.

La Microbiología Marina se ocupa de la estructura y vida de los microorganismos existentes en los océanos y estuarios y del papel que desempeñan en la Ecología, en los ciclos de los elementos y en la transformación de compuestos tanto en el agua como en los sedimentos; así como de las relaciones entre los microorganismos y las plantas y animales acuáticos y del comportamiento de las formas terrestres en el medio ambiente marino.

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

En un principio, el interés fundamental hacia los microorganismos marinos estaba centrado en la cuestión de la supervivencia en el ambiente marino de las bacterias patógenas de origen acuático, recientemente descubiertas: el bacilo de la tifoidea y el vibrión del cólera. De hecho los primeros artículos sobre bacterias en aguas marinas, publicado por De Giaksa y otros, constituyen más bien aspectos o partes de un estudio más completo sobre bacterias patógenas (61).

Hacia fines de la década de 1880 y principios de la siguiente, aparecieron varios trabajos sobre microbiología acuática, en los que se describían métodos de purificación y análisis del agua, y los hallazgos de microorganismos que vivían en agua dulce; aparecen también reportes sobre la incapacidad de Salmonella typhi (entonces Bacillus typhi) para sobrevivir por largo tiempo en aguas costeras. Aquellos que estaban en el primer plano de la investigación se mostraban impacientes con la microbiología no médica, por lo que muchos investigadores tenían que "justificar" sus estudios, relacionándolos con la distribución de los vibriones del cólera o del bacilo de la tifoidea.

En 1884 Certes reportó por primera vez que era posible aislar a las

bacterias marinas de los océanos; de hecho, él cultivó bacterias heterotróficas - aerobias en un medio de agua de mar y llegó a usar un dispositivo de alta presión que le permitió cultivar los microorganismos a presiones de hasta unas 300 atm.

Poco después aparecieron estudios básicos en Mónaco, donde el Príncipe Alberto ayudó al estudio de las bacterias marinas. Esto indudablemente animó a Richard a considerar a las bacterias marinas y su contribución a la luminiscencia y al reciclaje de la materia orgánica en su extenso volumen "L'Océanographie" (62). Esta fue la primera monografía del océano que reconoció a las bacterias y la primera en incluir una extensa discusión sobre la necesidad de desarrollar técnicas para un muestreo aséptico.

En 1889 la expedición alemana "The Plankton" proporcionó un gran estímulo a los nuevos estudios sobre los microorganismos marinos y convirtió a Alemania en el centro de dichos estudios hasta la Primera Guerra Mundial. Hacia 1912 Benecke pudo incluir un importante capítulo de 37 páginas sobre los microorganismos en el agua de mar, sedimentos y plancton y una discusión sobre su probable papel en el mar.

Sin embargo, después de la guerra el centro de la Microbiología Marina cambió y las principales investigaciones se produjeron en Gran Bretaña - donde Drew investigó las bacterias desnitrificantes y Lloyd escribió sus artículos clásicos sobre el área del mar de Clyde.

Los primeros artículos, especialmente los alemanes, estaban concentrados en dos aspectos de la Microbiología Marina: el ciclo del nitrógeno y - las bacterias luminiscentes. Los estudios sobre este último aspecto, que empezaron con Pfluger y su extensa discusión sobre la naturaleza biológica de la luminiscencia y el aislamiento de bacterias luminiscentes logrado por Fisher, condujeron

a Beijerinck a estudiar su distribución, nutrición y taxonomía. Beijerinck creyó que la capacidad de emitir luz debía estar relacionada con la nutrición de los organismos así como con los requerimientos de oxígeno y su distribución estacional. Así, el reconoció la importancia de la temperatura, la luz, el agua de mar y los extractos de peces en sus estudios de cultivos puros cuando intentó duplicar las condiciones in situ. Este eminente microbiólogo holandés reconoció la diversidad dentro del concepto de las especies, y agrupó a sus aislamientos y aquellos que pudo obtener de otros investigadores, en grupos de especies, definidos pero flexibles.

Aunque no estaban tan ampliamente reconocidos como sus homólogos europeos, varios institutos de investigación de la Unión Soviética produjeron estudios básicos sobre la distribución y papel de los microorganismos en el Océano Artico y los mares Caspio y Azov. Después, en la década de los treinta se llevaron a cabo estudios similares en los Estados Unidos, realizados por Waksman y ZoBell.

El resultado final de estos esfuerzos primarios fue la concentración y énfasis en la investigación de los aspectos funcionales de la vida microbiana en los mares. En las investigaciones recientes de la década de los setenta estamos redescubriendo muchas de las antiguas verdades y obteniendo nuevos conocimientos con métodos analíticos más sofisticados y sensibles, que nos proporcionan datos cuantitativos que eran frecuentemente inalcanzables para los pioneros de la Microbiología Marina.

Hoy sabemos que el microbiólogo dedicado a este campo debe obtener su conocimiento, principalmente del trabajo realizado sobre y en el ambiente acuático. La aplicación de métodos continuos para medir actividades, de técnicas

cas bioquímicas modernas y el uso del microscopio electrónico ensancharán, en un futuro próximo, nuestro conocimiento sobre las funciones de los microorganismos en los procesos biológicos que se llevan a cabo en el mar.

Sin embargo, no debemos perder de vista que aún quedan muchas dificultades metodológicas. Una de ellas, es el problema de tomar muestras de agua asépticamente particularmente de la superficie del sedimento. Otra gran desventaja es que las muestras de agua sufren cambios físicoquímicos tan pronto como son puestas en los recipientes. La adsorción sobre las paredes de los recipientes juega un papel particularmente importante, el cual ha sido denominado por ZoBell como "efecto de superficie sólida". Este efecto cambia rápidamente la población bacteriana de una muestra de agua inmediatamente después de la recolección. El número de los tipos de microorganismos presentes se reduce pero el número de individuos puede alcanzar un múltiplo del número original en 24 horas. Otra causa de cambios es la gran sensibilidad que tienen muchos microorganismos acuáticos a variaciones relativamente pequeñas de temperatura.

Por estos y otros problemas existentes, las muestras de agua deben procesarse inmediatamente después de la recolección. Así, las investigaciones microbiológicas de los grandes cuerpos de agua, sólo se llevarán a cabo satisfactoriamente si se dispone de barcos que dispongan de un laboratorio adecuado, como se ha hecho en los últimos años.

CAPITULO II

ASPECTOS FISICOS Y QUIMICOS DEL MEDIO

AMBIENTE MARINO

2.1 EXTENSION Y PROFUNDIDAD

Los océanos y mares cubren un 70.8% de la superficie de la Tierra, representando la superficie acuática continúa más grande.

Los océanos y mares forman una unidad integral y juntos debían de llamarse más apropiadamente el Océano Mundial, ya que los límites exactos que hay entre los distintos mares y océanos fueron definidos arbitrariamente y - han sido fijados por convención. Quedarían aparte el mar Caspio y el mar Muerto que generalmente son considerados como lagos salados.

Los océanos predominan sobre las áreas terrestres en el Hemisferio Sur en forma mucho mayor de lo que lo hacen en el Hemisferio Norte; la proporción de agua y tierra es de casi 4 a 1 (81:19) en el Hemisferio Sur y de casi 3 a 2 - (63:39) en el Hemisferio Norte.

La porción del planeta cubierta por agua se divide en los diferentes océanos y mares que conocemos, de tal manera que los océanos Atlántico, Indico y Pacífico, incluyendo sus mares adyacentes tienen, en cuanto al área que cubren, una proporción de 10:7:17 respectivamente. Se pueden observar datos más exactos en la tabla 2.1.1

El océano Atlántico tiene la mayor longitud de litorales debido a su forma irregular; su longitud es mayor que la de los litorales de los océanos Indico y Pacífico combinados. Otra característica distintiva del océano Atlántico es que la mayoría de los principales ríos continentales desembocan en él.

La profundidad promedio de todos los mares se ha establecido en 3,790 metros, cifra considerablemente mayor que la de la elevación promedio de

TABLA 2.1.1 Area Superficial, Volumen y Profundidad Promedio de Océanos y Mares. (Enciclopedia Británica).

	Area Km ² x 10 ⁶	Volumen Km ³ x 10 ⁶	Profundidad Prom. metros
Océano Atlántico			
sin mares marginales	82.440	324.600	3,930
con mares marginales	106.460	354.700	3,330
Océano Pacífico			
sin mares marginales	165.250	707.600	4,280
con mares marginales	179.680	723.700	4,030
Océano Índico			
sin mares marginales	73.440	291.000	3,960
con mares marginales	74.920	291.900	3,900
Océano Ártico	14.090	17.000	1,205
Mar Mediterráneo y Mar Negro	2.970	4.200	1,430
Golfo de México y Mar Caribe	4.320	9.600	2,220
Mar de Australasia Central	8.140	9.900	1,210
Bahía de Hudson	1.230	0.160	128
Mar Báltico	0.420	0.020	55
Mar del Norte	0.570	0.050	94
Canal de la Mancha	0.075	0.004	54
Mar Irlandés	0.100	0.006	60
Mar de Okhotsk	1.530	1.300	838
Mar de Bering	2.270	3.300	1,440
El Océano Mundial	361.100	1,370.000	3,790

la tierra por sobre el nivel del mar, la cual es de 840 metros. Si la profundidad promedio la multiplicáramos por su respectiva área superficial, el volúmen del -- Océano Mundial sería once veces el volumen de la tierra por sobre el nivel del mar.

La profundidad máxima del océano detectada es de 10,850 metros y se encuentra en la Trinchera de las Marianas, que está localizada a la mitad del camino entre las islas de Guam y de Yap, en el océano Pacífico. Esta profundidad excede la altura del monte Everest que mide 8,848 m.

2.2 CARACTERISTICAS DEL SUELO MARINO

La topografía del suelo marino es tanto o más compleja que la de la tierra y no debe pensarse que éste son grandes depresiones lisas, llenas de agua; por el contrario, en el suelo marino existen altas montañas que forman extensas cordilleras empinados cañones y asombrosas trincheras y hendiduras.

Las áreas ocupadas por las zonas de diferentes profundidades en relación con el área total de superficie marina se encuentran en la tabla 2.2.1 en forma de porcentajes.

La zona de profundidad de 0 a 200 metros corresponde a la Plataforma Continental y cubre un área casi tan grande como la de la zona con una profundidad de 200 a 2,000 metros, que es la región en la que se presenta el Declive Continental que tiene una gran pendiente, con un descenso que puede llegar a ser hasta de 1.5 Km. por cada 3 Km de distancia horizontal.

Por otro lado, las profundidades de más de 6,000 metros cubren só

TABLA 2.2.1 Profundidad de las Zonas del Océano Mundial y su Extensión*

Profundidad de las zonas (metros)	Extensión de las zonas (Km² x 10⁶)	Porcentaje de la superficie total del mar
0 - 200	27.4	7.6
200 - 1,000	15.5	4.3
1,000 - 2,000	15.2	4.2
2,000 - 3,000	24.5	6.8
3,000 - 4,000	70.8	19.6
4,000 - 5,000	119.1	33.0
5,000 - 6,000	84.1	23.5
6,000 - 7,000	4.0	1.1
más de 7,000	0.4	0.1

* (Enciclopedia Británica)

lo una muy pequeña parte del fondo del océano, en contraste con las profundidades que van de los 3,000 a los 6,000 metros.

La Plataforma Continental es una plataforma sumergida, relativamente poco profunda que bordea a los continentes; se inclina lentamente mar adentro hasta el rompimiento de la plataforma, donde un incremento en la pendiente conduce al Declive Continental.

La extensión de la plataforma continental varía enormemente, desde casi cero a lo largo de las costas occidentales de Norte y Sudamérica, hasta más de mil kilómetros en la costa norte de Siberia. La anchura promedio es de 75 Km y el declive promedio es de 1.7 metros por kilómetro (0.1°). Es en estos mares relativamente poco profundos en donde se encuentra la mayor concentración de seres vivos, debido a que es la zona a la que aún llega la luz solar lo que provoca la sobrepoblación de plantas fotosintéticas macro y microscópicas; la presencia de estos fotótrofos conduce a la existencia de los demás seres vivos que acuden a estas zonas a "pastar" y a "cazar". Casi toda la pesca comercial de todo el mundo se lleva a cabo en las aguas de las plataformas continentales. En ellas los peces son variados y abundantes. Sin embargo, esta zona sólo constituye aproximadamente el 7.6% de la superficie total del mar.

El Declive Continental se extiende hacia abajo hasta una profundidad de unos 4,000 m. Su pendiente promedio cerca de la plataforma es de unos 70 metros por kilómetro (4°) sobre una anchura de 20 a 100 Km y a distancias mayores se vuelve gradualmente menor.

La tercera zona, que puede variar en anchura desde cero hasta 600 Km, se llama Elevación Continental y se funde con la plataforma abisal a una pro

fundidad promedio de 4,000 m. (Figura 2.2.2)

2.3 COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA DE MAR

El agua de mar contiene en solución sustancias inorgánicas, orgánicas y gases; aparte de estas sustancias en estado de solución, también con tiene concentraciones sumamente variadas de partículas de materia en suspensión. Estas partículas vivas (como el plancton, las bacterias y otros microorganismos) y no vivas, pueden influir en ciertas propiedades del agua de mar.

2.3.1 Sustancias Inorgánicas Disueltas

Los principales constituyentes inorgánicos del agua de mar, además de los gases, se encuentran en la tabla 2.3.1; excluyendo al agua los cons tituyentes se encuentran enlistados como iones.

Los iones de sodio y cloro predominan en el agua de mar; juntos forman más del 85% en peso de la cantidad total de sales disueltas.

Aunque la cantidad total de sales disueltas puede variar de un lugar a otro y de una época a otra, las proporciones relativas de los componentes son notablemente constantes. El contenido total de sal puede variar, debido a - que el agua de mar puede diluirse por la adición de agua dulce en forma de lluvia o o nieve, agua de ríos o agua fundida proveniente de los icebergs. En otros momentos y lugares, el agua de mar puede volverse más salada debido a la evaporación del agua. En ambos casos, las proporciones de los constituyentes de la sal per-

TABLA 2.3.1 Principales Constituyentes del Agua de Mar

(de 19 partes por mil de clorinidad) (61)

Constituyentes	g/Kg de agua de mar	Proporción en el contenido total de sal (%)
Cloruros (Cl^-)	18.980	55.044
Sulfatos (SO_4^{2-})	2.649	7.682
Bicarbonatos (HCO_3^-)	0.140	0.406
Bromuros (Br^-)	0.065	0.189
Fluoruros (F^-)	0.001	0.003
Acido Bórico (H_3BO_3)	0.026	0.075
Sodio (Na)	10.556	30.613
Magnesio (Mg)	1.272	3.689
Calcio (Ca)	0.400	1.160
Potasio (K)	0.380	1.102
Estroncio (Sr)	0.013	0.038
TOTAL	34.482	100.000
Agua (con trazas de otras sustancias)	965.518	
TOTAL	1,000.000	

TABLA 2.3.2 Principales Componentes del Agua de Mar en Forma de Sales
(por m³ de agua de mar de 35 partes por mil de salinidad, a
20°C) (61)

SAL	CANTIDAD (Kg)
NaCl	28.014
MgCl ₂	3.812
MgSO ₄	1.752
CaSO ₄	1.283
K ₂ SO ₄	0.816
CaCO ₃	0.122
KBr	0.101
SrSO ₄	0.028
H ₃ BO ₃	0.028

manecen constantes.

Debido a que el volumen total de los océanos es de $1,370 \times 10^6$ kilómetros cúbicos y la concentración total promedio de sal en el agua de mar es de casi 3.6 Kg/l, la cantidad total de sal que hay en el mar es de aproximadamente 5×10^{18} Kg.

Además de los componentes ya nombrados hay otros elementos presentes en el agua de mar, aunque en forma de trazas, ya que en total sólo representan un poco más de 3mg/Kg de agua de mar; estos componentes pueden ser de importancia esencial para la economía del mar y para la vida de ciertos organismos.

El análisis químico del agua de mar ha revelado la presencia de trazas de iodo, que es un importante constituyente de algunas algas marinas y de cobre, que se encuentra en la sangre de los cangrejos; además existen plomo, estaño y oro entre otros; éste último se encuentra en una concentración de 0.004 mg/m^3 .

La materia radiactiva también se encuentra en forma natural en el mar, aunque en concentraciones extremadamente pequeñas; el uranio en concentraciones de ~~unos~~ 3 mg/m^3 y el radio de 0.03 a $0.15 \text{ mg/10}^6 \text{ m}^3$ de agua de mar. Además, hay ciertos constituyentes isotópicos como el isótopo radioactivo del potasio (potasio - 40) que tiene una abundancia de 0.0118% del total del potasio presente y que constituye con mucho la mayor fuente de radiactividad en el océano.

2.3.1.1 SALINIDAD. El término salinidad es usado por los oceanógrafos para caracterizar el contenido total de sal en una muestra de agua de mar. Se define como la cantidad total en gramos de material sólido que se encuentra en solución en un kilogramo de agua de mar, cuyo contenido de bromuros y yoduros ha sido -

reemplazado teóricamente por una cantidad equivalente de cloruros, todo el carbonato se ha convertido en óxido, y toda la materia orgánica ha sido completamente oxidada.

Debido al hecho de que la composición del agua de mar permanece relativamente constante, para la mayoría de los propósitos prácticos de la oceanografía, sólo es necesario conocer la concentración de unos de los principales constituyentes para poder obtener la concentración de los demás. Esto hace que sea relativamente fácil determinar la salinidad del océano por métodos químicos.

Con el método normal de análisis se determina la clorinidad de la muestra; en efecto, el bromo y el yodo presentes en el agua de mar son reemplazados por una cantidad equivalente de cloro, debido a que estos elementos precipitan junto con el cloro en presencia de nitrato de plata.

La clorinidad expresada en gramos por kilogramo de agua de mar, es idéntica al número de gramos de plata en forma de nitratos, necesarios para precipitar los halógenos presentes en una muestra de 0.3285233 Kg de agua de mar.

La relación empírica entre la salinidad (S) y la clorinidad (Cl) es la siguiente:

$$S = 1.805 Cl + 0.03$$

Sin embargo, durante los últimos años, la medida de la conductividad eléctrica ha reemplazado considerablemente al método de la titulación del cloro para determinar la salinidad. La relación conductividad - clorinidad se estableció internacionalmente, basándose en el análisis de muestras de todos los mares del mundo y la relación clorinidad por conductividad (Clc) - salinidad (S) se ha adoptado como:

$$S = 1.80655 \text{ Clc}$$

Tanto la salinidad como la clorinidad se expresan en gramos por kilogramo de agua, o sea, en partes por mil.

En mar abierto, la salinidad varía de 34 a 38 partes por mil. El promedio es muy cercano a 35 partes por mil. No obstante, los mares cerrados por tierras adyacentes generalmente tienen una salinidad mucho menor, especialmente si están localizados en zonas húmedas con un fuerte derramamiento fluvial desde tierra; por ejemplo, las partes interiores del mar Báltico y algunos fiordos donde la salinidad puede descender hasta 0.5 partes por mil. Las aguas con salinidad muy baja se llaman salobres.

Los mares encerrados por tierras áridas adyacentes, en los que la evaporación excede a la precipitación, tienen una salinidad mucho mayor, que puede llegar hasta 43 ó 45 partes por mil, como ocurre en el mar Rojo o a salinidades superiores como en algunas lagunas costeras de Texas, en el golfo de México.

2.3.2 Gases Disueltos

Debido a que el mar se encuentra en contacto continuo con la atmósfera, los gases que se encuentran en esta también están presentes en el agua de mar, en concentraciones que dependen de su solubilidad y de las reacciones químicas y bioquímicas en las que intervienen.

Las solubilidades del nitrógeno, oxígeno y CO_2 son muy diferentes. Se encuentran en el aire en proporciones de 78%, 21% y 0.03% en volumen, res

pectivamente; pero sus concentraciones de saturación en el agua de mar con una clorinidad de 19 partes por mil, a una temperatura de 12°C en contacto con el aire a una atmósfera de presión, son de 11.1, 6.2 y 0.3 ml de gas/l de agua de mar. La solubilidad del oxígeno es considerablemente mayor que la del nitrógeno y el CO₂ es mucho más soluble que estos dos gases, debido a que reacciona con el agua para formar ácido carbónico. La solubilidad de los gases disminuye con el incremento de la temperatura.

El nitrógeno es de gran importancia para la vida en el agua de mar ya que gracias a las bacterias nitrificantes que viven en o cerca del fondo marino, es convertido en sales de amonio y nitratos, los cuales son necesarios para la vida vegetal y por ende para la animal.

El oxígeno presente en el agua de mar proviene de la atmósfera y de las plantas marinas que lo liberan durante la fotosíntesis; ambas fuentes existen cerca de la superficie del mar. Conforme aumenta la profundidad, disminuye la intensidad de la luz en la zona y con ella, disminuye la posibilidad de que existan organismos fotosintéticos. Por otro lado, el oxígeno es consumido en todas partes aún en las grandes profundidades donde existen organismos que lo utilizan. Además, el oxígeno se consume por combinación con los productos orgánicos de desecho cuando los restos de organismos se hunden hasta el fondo y son descompuestos. De aquí que haya una sobreproducción de oxígeno cerca de la superficie y un sobreconsumo en las grandes profundidades. En el centro hay un nivel en el cual la producción y el consumo están balanceados y que recibe el nombre de Zona de Compensación la cual puede variar desde 1 hasta 100 metros dependiendo de la cantidad de luz solar disponible en la superficie del mar, de la transparencia del agua y de la abundancia de vida vegetal - la cual a su vez depende de los **nutrimentos disponibles**.

Debido a que el oxígeno se consume a todos los niveles del océano, se podría pensar que no existe oxígeno en las grandes profundidades, donde la producción es esencialmente cero, pero el agua de refresco es traída por la lenta y continua circulación de agua a gran escala que existe dentro del Océano Mundial. A grandes latitudes, las masas de agua fría que son muy pesadas se hunden hasta el fondo y difunden hacia latitudes menores a través de todas las capas del mar profundo. En el área que hay entre las capas superiores del mar en las que abunda el oxígeno y las profundas, donde el oxígeno es suministrado por la circulación oceánica, a menudo se presenta una capa que posee una concentración mínima de oxígeno.

Hay algunos mares que, por estar casi encerrados, carecen de ventilación y hay una completa ausencia de oxígeno en las estancadas aguas del fondo. En tales casos no existe una comunicación horizontal con las aguas profundas exteriores, pero además, la estratificación estable del agua impide la mezcla de las aguas de las capas superiores con la de las capas inferiores. Las bacterias anaeróbicas proliferan en estos ambientes deficientes en oxígeno y producen una gran cantidad de ácido sulfhídrico (H_2S) que se almacena en dichas aguas.

Además del hecho de que el CO_2 es muy soluble en el agua de mar y de que se combina con esta para dar ácido carbónico (H_2CO_3), este luego se disocia parcialmente para producir los iones bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{--}), que reaccionan con el calcio y el magnesio para formar las correspondientes sales. Todas estas reacciones son reversibles y pueden proceder en cualquier dirección, dependiendo de la cantidad de CO_2 disponible. Debido a

Debido a que el oxígeno se consume a todos los niveles del océano, se podría pensar que no existe oxígeno en las grandes profundidades, donde la producción es esencialmente cero, pero el agua de refresco es traída por la lenta y continua circulación de agua a gran escala que existe dentro del Océano Mundial. A grandes latitudes, las masas de agua fría que son muy pesadas se hunden hasta el fondo y difunden hacia latitudes menores a través de todas las capas del mar profundo. En el área que hay entre las capas superiores del mar en las que abunda el oxígeno y las profundas, donde el oxígeno es suministrado por la circulación oceánica, a menudo se presenta una capa que posee una concentración mínima de oxígeno.

Hay algunos mares que, por estar casi encerrados, carecen de ventilación y hay una completa ausencia de oxígeno en las estancadas aguas del fondo. En tales casos no existe una comunicación horizontal con las aguas profundas exteriores, pero además, la estratificación estable del agua impide la mezcla de las aguas de las capas superiores con la de las capas inferiores. Las bacterias anaeróbicas proliferan en estos ambientes deficientes en oxígeno y producen una gran cantidad de ácido sulfhídrico (H_2S) que se almacena en dichas aguas.

Además del hecho de que el CO_2 es muy soluble en el agua de mar y de que se combina con esta para dar ácido carbónico (H_2CO_3), este luego se disocia parcialmente para producir los iones bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{--}), que reaccionan con el calcio y el magnesio para formar las correspondientes sales. Todas estas reacciones son reversibles y pueden proceder en cualquier dirección, dependiendo de la cantidad de CO_2 disponible. Debido a

esta reversibilidad, el mar posee una gran capacidad reguladora con respecto a los procesos que involucran al dióxido de carbono en la atmósfera y en el mar, incluyendo los que se refieren a la vida vegetal y a la fotosíntesis.

El pH del agua de mar, se encuentra en general entre 7.5 y 8.5 pero en algunas aguas costeras puede haber grandes divergencias.

2.3.3 Substancias Orgánicas Disueltas

El agua de mar contiene una gran diversidad de compuestos orgánicos disueltos que se originan de la descomposición de los organismos después de su muerte. La cantidad total de carbono orgánico disuelto en los océanos abiertos varía desde 0.2 hasta 2.5 mg/l. Valores superiores se encuentran en las áreas cerradas por extensiones de tierra, como los mares Negro y Báltico.

Las mayores concentraciones de carbono orgánico se encuentran en áreas ricas en fitoplancton, las cuales se localizan en los lugares en los que hay movimientos ascendentes de agua, que acarrean los nutrientes necesarios para que estos organismos se multipliquen, como son los nitratos y los fosfatos que suben desde el fondo marino donde son liberados o producidos por las bacterias.

2.4 PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA DE MAR

El agua de mar, debido a su contenido de sales, gases y materia orgánica disuelta en ella o en suspensión, se comporta de manera ligeramente diferente a como lo hace el agua dulce o destilada.

2.4.1 Distribución de la Salinidad

La salinidad generalmente varía en los mares abiertos dentro de límites muy estrechos; esto es, entre 34 y 37 partes por mil en la mayoría de los lugares, pero existen algunos factores que pueden modificar esta característica, más allá de dichos límites. Por ejemplo, la precipitación pluvial y fluvial puede reducir la salinidad del mar como ya se ha mencionado (2.3.1.1).

Otro factor que puede afectar la salinidad del mar y su distribución, es el intercambio de agua con la atmósfera, o sea la diferencia entre precipitación y evaporación. Las menores salinidades se encuentran en moderadas y grandes latitudes y en la zona ecuatorial, donde la precipitación excede a la evaporación, y las salinidades mayores prevalecen en las zonas subtropicales, donde impera la evaporación.

Por ejemplo, en el mar de los Sargazos, en la mitad del océano Atlántico a una latitud de unos 25° N, la salinidad en verano es de más de 37 - partes por mil; ésta es aún mayor en el Mediterráneo (38 partes por mil) y en el mar Rojo (41 partes por mil). Estas grandes salinidades son el resultado de las pequeñas cantidades de agua dulce que reciben estas áreas y de las grandes velocidades de evaporación que prevalecen. Además, estos cuerpos de agua están casi encerrados, por lo que tienen una muy pobre comunicación con el mar abierto.

Las diferencias en la salinidad en la mar profunda son menores que las de la superficie, y varían de 34.5 a 35 partes por mil. Condiciones muy excepcionales se han encontrado en algunos lugares del fondo del mar Rojo, -

donde la salinidad de algunas pequeñas depresiones del fondo es hasta de 256 partes por mil. Estos valores van acompañados por temperaturas de hasta 60°C. Se cree que las sales minerales son extraídas directamente de las subcapas - del suelo de estas pequeñas áreas.

2.4.2 Distribución de la Temperatura

La temperatura de las aguas superficiales de los mares y océanos tiene grandes variaciones en las diferentes partes del mundo. Puede ser de 1.9°C en los mares polares y elevarse hasta unos 30°C en las aguas subtropicales del mar de China del Sur y del Golfo de México; pero en algunos mares restringidos, como el Golfo de Persia no es raro encontrar temperaturas mayores que pueden llegar hasta los 33°C. Sin embargo, en los mares tropicales y en las regiones polares la variación anual es pequeña, de 1 a 2°C.

Por otra parte, con el incremento de la profundidad las variaciones anuales se vuelven menores. En general, son perceptibles hasta unos 300 metros pero a menudo estas variaciones no se extienden más allá de los 100 metros. La temperatura generalmente desciende con el incremento de la profundidad, excepto en las masas de agua polar donde las temperaturas son bajas desde la superficie hasta el fondo. El descenso vertical de la temperatura a menudo muestra un salto, por arriba del cual el agua es, frecuentemente, más o menos isotérmica; esto es, tiene la misma temperatura a diferentes profundidades. Este fenómeno puede deberse a la mezcla de aguas, provocada por el viento, o en la época fría, al enfriamiento de las aguas superficiales, lo que provoca -

una circulación vertical (difusión del calor por circulación o convección) , o por ambas causas. Estos factores tienden a hacer que la capa mezclada alcance su mayor profundidad (unos 100 metros) en invierno y primavera. El salto también puede no existir, particularmente después de un calentamiento en la superficie, o romperse en varias subcapas. En la región que se encuentra por debajo de la capa de mezcla, la temperatura desciende rápidamente; a esta zona se le llama Termoclina. A menudo está asociada con una repentina discontinuidad en el contenido de sal y como consecuencia de esto, puede haber diferencias en la densidad, lo cual influye en la distribución vertical de los organismos.

Por debajo de la Termoclina, el decremento de la temperatura es más gradual, y llega a temperaturas muy bajas; aún en las regiones tropicales donde se han encontrado temperaturas de menos de 1°C a profundidades de - 5,000 metros o más, y la temperatura promedio es de 3.5°C o menos en la mayoría de los lugares con profundidad de 2,000 metros. La causa de estas temperaturas tan bajas es la lenta circulación que hay en las profundidades, la cual ya se mencionó al hablar del contenido de oxígeno en las aguas profundas.

El calor específico del agua de mar es la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de un Kg de agua de mar 1°C , bajo presión y volumen constantes. Su valor es un poco menor que el valor del calor específico del agua pura a la misma temperatura. A una temperatura de 17.5°C es de 1,000 calorías/Kg de agua pura, mientras que para un Kg de agua de mar con una salinidad de 35 partes por mil es de 932 calorías. El calor específico desciende ligeramente con el incremento de la temperatura y con el incremento de la presión.

El punto de congelación del agua de mar es menor que el del agua

dulce y cambia junto con la salinidad: al aumentar ésta, desciende aquel. Los puntos de congelación para algunos valores diferentes de salinidad son:

SALINIDAD (partes por mil)	0.0	10	20	30	35
PUNTO DE CONGELACION (°C)	0.0	-0.53	-1.08	-1.63	-1.91

2.4.3 Densidad del Agua de Mar

En oceanografía, generalmente se usa la gravedad específica en vez de la densidad. La gravedad específica es la relación entre dos densidades y, por lo tanto, es una cantidad adimensional. Si por definición, el agua destilada, a una temperatura de 4°C tiene una densidad $\rho_m = 1$, entonces la gravedad específica de una sustancia con densidad ρ es ρ/ρ_m y numéricamente igual al valor de su densidad.

La densidad o gravedad específica, del agua de mar depende de la temperatura y la salinidad de la muestra y también, como resultado de la ligera compresibilidad del agua, de la presión del mar. La densidad del agua de mar es mayor que la densidad del agua pura debido a su contenido salino. Por ejemplo a 0°C y a presión atmosférica, el agua pura tiene una densidad de 999.9 Kg/m³. El agua de mar de 20 y 35 partes por mil tiene densidades de 1,016.1 y 1,028.1 Kg/m³ respectivamente.

En la superficie marina, la densidad promedio es de unos 1.025 g/cm³.

El efecto de la presión sobre la densidad del agua puede observarse mediante la siguiente tabla en la cual la temperatura es de 0°C y la salinidad de 35 partes por mil.

PROFUNDIDAD (m)	0	1,000	2,000	10,000
DENSIDAD (Kg/m ³)	1,028	1,033	1,037.5	1,071

El hecho de que la salinidad dependa de la temperatura, requiere atención especial. A diferencia del agua dulce, el agua de mar alcanza su densidad máxima, no a 4°C sino a una temperatura menor. Desde luego mientras mayor es la salinidad, menor es la temperatura a la cual se alcanza la densidad máxima, pero para salinidades de 24.7 partes por mil o más, el agua de mar continúa haciéndose más pesada al disminuir la temperatura hasta alcanzar el punto de congelación.

En los lugares en que la salinidad es menor de 24.7 partes por mil, la temperatura de la densidad máxima se alcanza antes de llegar al punto de congelación de tal manera que ocurre un enfriamiento de todo el cuerpo de agua. Esto significa que a una temperatura dada, por encima del punto de congelación, toda el agua, desde la superficie hasta el fondo, alcanza su densidad máxima. Al enfriarse un poco más las capas superficiales del agua, ésta se vuelve más ligera que el agua de la sub-superficie y no se hunde. Así, el proceso de enfriamiento progresa rápidamente en una delgada capa superficial hasta que alcanza el punto de congelación en la superficie y se forma una capa glacial.

En aguas con salinidades de 24.7 partes por mil o más la convección vertical continua con enfriamiento del agua hasta que toda ella alcanza el

punto de congelación; esto significa que el enfriamiento de un cuerpo de agua de gran salinidad se extiende a una mucho mayor profundidad y a temperaturas mucho menores que en el caso de salinidades bajas, en las que la convección se detiene cuando el agua se ha enfriado a la temperatura de la máxima densidad. Con la formación de hielo, la convección vertical bajo la capa glacial empezará otra vez como consecuencia del incremento de la densidad debido al incremento de la salinidad.

Así, no es la disminución del punto de congelación del agua de mar, sino la relación entre la temperatura de la densidad máxima y la temperatura del punto de congelación, lo que explica el hecho de que los mares "salados" no se congelen tan rápidamente como los lagos de agua dulce o los mares adyacentes de baja salinidad.

2.4.4 Presión

La presión del agua en el mar se expresa en una unidad llamada BAR, que es igual a 10^5 Newtons/m², siendo el Newton la unidad física de fuerza, de acuerdo al sistema internacional de unidades. La unidad práctica es el decibar, que equivale a 0.1 Bar.

Un decibar corresponde aproximadamente a la presión ejercida por 1 metro de agua de salinidad normal. La presión exacta ejercida por una columna de agua de mar depende de su densidad. Si está en equilibrio con la fuerza de gravedad, la diferencia de presión entre la parte superior y la inferior de una columna de agua de mar es igual a la densidad por la aceleración de la -

gravedad por la altura de la columna.

En otras palabras y hablando más prácticamente, la presión hidrostática se incrementa con la profundidad del mar en 1 atmósfera ($1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ o sea casi igual a un bar) cada 10 metros. Por lo tanto, en las grandes profundidades existen presiones de varios cientos de atmósferas que sólo algunos organismos marinos pueden soportar.

Además de la presión hidrostática, existe en el mar la presión osmótica, la cual se debe por un lado, a las diferencias que existen en la salinidad de las diferentes capas de agua y de una manera mucho mas importante, a la que existe entre el interior de los organismos y el medio que los rodea. Como sabemos, la ósmosis es un factor importante en la fisiología de los organismos, particularmente en el agua de mar, que es una solución de diferentes sales en agua pura.

La presión osmótica en el agua de mar está estrechamente relacionada con la disminución del punto de congelación. De acuerdo a Stenius (1904) la presión osmótica del agua de mar OP_0 , expresada en atmósferas, a una temperatura de 0°C es de

$$OP_0 (\text{atm}) = -12.08 \quad t_g \quad (^\circ\text{C})$$

donde t_g es la temperatura del punto de congelación.

y para temperaturas diferentes de 0°C (t), OP_t está dada por:

$$OP_t = OP_0 (1 + \alpha t)$$

donde $\alpha = 1/273$

La presión osmótica del agua de mar con 35 partes por mil de salinidad a una temperatura de 4°C es de 23 atm.

Debido a que la presión osmótica depende fuertemente de la sa

linidad, su medida provee un método delicado para la determinación de la salinidad. Sin embargo, es técnicamente muy difícil producir membranas semipermeables de la constancia requerida.

Se han nombrado y descrito las principales características físicas y químicas del medio ambiente marino, mencionando algunas variaciones que existen dentro de estas características. Sin embargo, el mar no es tan uniforme como pudiera parecer, pues en él se encuentran regiones relativamente ricas en nutrimentos con una población animal y vegetal multiforme, así como lugares de una pobreza nutricional extrema, con fosfatos y nitratos presentes en concentraciones difícilmente demostrables en donde sólo unas cuantas criaturas pueden sobrevivir. Las oscuras profundidades del mar son el dominio de los microorganismos y algunos animales marinos fantásticos. No sólo hay vida en el agua, sino también en el fango marino. Aún en el fondo del mar Negro, que está saturado de sulfuro de hidrógeno, los microorganismos florecen.

Debido a su tamaño y a las enormes variaciones físicas y químicas que en él existen, el mar es el hábitat menos conocido de la Tierra, pero la oceanografía ha sufrido una enorme expansión en los últimos 10 años y continúa avanzando rápidamente, por lo que el conocimiento del llamado "Mundo del Silencio" y las posibilidades de utilizar más extensamente al mar crecen día a día.

3.1 BACTERIAS

3.1.1 Generalidades

El hallazgo de bacterias y otros microorganismos en el agua , data prácticamente de la época de la invención del microscopio , pero fue sólo hasta el siglo XIX cuando hubo algún progreso en la Microbiología Acuática. Estimulados por los exitosos trabajos de Luis Pasteur y Roberto Koch sobre los microorganismos , otros investigadores los buscaron en una gran variedad de clases de aguas , encontrando que los habitantes microscópicos del agua no son de ningún modo uniformes , sino que muestran una extraordinaria variedad , como ocurre con los del suelo.

Además de las bacterias acuáticas genuinas (autóctonas) cuyo medio ambiente es el agua y sólo ahí se pueden desarrollar óptimamente , se encuentran en ella un cierto número de bacterias de otros hábitats. Así , muchas bacterias del suelo se encuentran en el agua dulce y en particular en las aguas que fluyen , debido a que están en contacto íntimo con el suelo. Por otro lado una lluvia constante de bacterias cae desde el aire sobre las aguas superficiales. Otras fuentes de contaminación son las plantas , los animales y los seres humanos.

Algunas de estas bacterias son ubícuas y pueden proliferar en los más diversos hábitats , incluyendo el agua , mientras que otras permanecen vivas en el agua sólo durante un limitado período de tiempo. Algunas

CAPITULO III

LAS BACTERIAS Y OTROS MICROORGANISMOS

MARINOS

bacterias del intestino humano tanto normales como patógenas pertenecen a este segundo grupo.

La composición de la flora bacteriana difiere ampliamente de acuerdo a la clase de hábitat acuático, dependiendo no sólo del contenido - de materia orgánica e inorgánica del agua, su pH, turbidez y temperatura, sino también, de la fuente de la que provienen los microorganismos que entran al agua. De esta manera las bacterias que viven en el mar son diferentes de las de agua dulce y entre estas, las de los ríos son diferentes de las de los lagos.

La mayoría de las bacterias acuáticas son C-heterotróficas, esto es, viven de sustancias orgánicas. Con mucho, la mayoría saprófitas y viven sobre materia muerta de origen vegetal y animal, a diferencia de los parásitos, cuyo número es relativamente pequeño. Por otro lado, existen en el agua bacterias foto y quimioautotróficas que sólo necesitan nutrientes inorgánicos. Ambas son, al igual que las plantas verdes, capaces de llevar a cabo la fotosíntesis o también de reducir el bióxido de carbono por medio de energía química y sintetizar material orgánico. Al primer grupo pertenecen las clorobacterias y las bacterias púrpuras, mientras que al segundo pertenecen las bacterias nitrificantes, del azufre y algunas ferrobacterias.

Morfológicamente, la mayoría de las bacterias acuáticas tienen su equivalente entre los tipos básicos de bacterias terrestres. Las células son esféricas, bacilares, en forma de comas y de espirilos. Además, también existen las formas filamentosas, los organismos en forma de banda y en forma de caña. Los filamentos pueden ser simples o ramificados y pueden en

contrarse solos o en montones. Diversas bacterias acuáticas pueden formar agregados, consistentes de unos cuantos o de muchos individuos; dichos agregados pueden ser esféricos o en forma de huevo, de estrella, de listón, de red o de hoja.

La mayoría de las bacterias acuáticas son móviles por medio de flagelos como regla general, pero algunas lo son porque se arrastran a lo largo de superficies sólidas. Más recientemente, se les han encontrado fimbrias en lugar de flagelos. Estas están asociadas con la formación de agregados en forma de estrella. Las fimbrias o pili son generalmente más delgadas que los flagelos pero varían bastante en longitud.

Las bacterias acuáticas genuinas se distinguen por su habilidad para utilizar concentraciones muy pequeñas de nutrientes.

De acuerdo a Wright y Hobbie (55) el agua de algunos lagos contiene acetato y glucosa en concentraciones de 1-10 g/l; y aún en estas concentraciones tan bajas pueden ser absorbidos por las bacterias que de esta forma tienen una ventaja sobre las algas heterotróficas.

Las bacterias pueden vivir libre en el agua o crecer sobre algún substrato sólido, principalmente detritus, aunque la mayoría son capaces de llevar a cabo ambos medios de vida, aún cuando algunas sólo pueden vivir en una u otra forma. No obstante, todas están incluidas en la gran comunidad viviente del plancton (organismos flotantes).

Las bacterias acuáticas no son un grupo homólogo. Casi todos los tipos de bacterias tienen representantes entre la flora acuática. En la tabla 3.1.1 se enlistan los grupos y familias, según la 8ª Edición del Bergey' s

TABLA 3.1.1 Grupos y Familias presentes en ambientes acuáticos basados en el Bergey's Manual of Determinative Bacteriology (8ª Edición); aquellas familias a las que pertenecen bacterias de agua dulce y/o marinas están indicadas con una x.

	Bacterias de agua dulce	Bacterias marinas
Parte 1. BACTERIAS FOTOTROFAS		
Orden I. RHODOSPIRILLALES		
Familia 1. Rhodospirillaceae	x	x
Familia 2. Chromatiaceae	x	x
Familia 3. Chlorobiaceae	x	x
Parte 2. BACTERIAS DESLIZANTES		
Orden I. Mixobacteriales		
Familia 1. Myxococcaceae		
Familia 2. Archangiaceae		
Familia 3. Cystobacteriaceae		
Familia 4. Polyangiaceae	x	
Orden II. Cytophagales		
Familia 1. Cytophagaceae	x	x
Familia 2. Beggiatoaceae	x	x
Familia 3. Simonsiellaceae		
Familia 4. Leucotrichaceae		x
Familias con afiliación Incierta		
Familia Achromatiaceae	x	x
Familia Pelonemataceae	x	
Parte 3. BACTERIAS CON VAINA	x	
Parte 4. BACTERIAS GEMANTES Y/O CON APENDICES	x	x
Parte 5. ESPIROQUETAS		
Orden I. Spirochaetales		
Familia 1. Spirochaetaceae	x	x

Parte 6. BACTERIAS CURVAS Y ESPIRALES

Familia 1. Spirillaceae	x	x
Géneros de afiliación incierta	x	x

Parte 7. BACILOS Y COCOS GRAM-NEGATIVOS AEROBIOS

Familia 1. Pseudomonadaceae	x	x
Familia 2. Azotobacteriaceae	x	x
Familia 3. Rhizobiaceae	x	x
Familia 4. Methylocomadaceae		
Familia 5. Halobacteriaceae		x
Géneros de afiliación incierta	x	x

Parte 8. BACILOS GRAM-NEGATIVOS ANAEROBIOS FACULTATIVOS

Familia 1. Enterobacteriaceae	x	x
Familia 2. Vibrionaceae	x	x
Géneros de afiliación incierta	x	x

Parte 9. BACTERIAS GRAM-NEGATIVAS ANAEROBIAS

Familia 1. Bacteroidaceae	x	x
Géneros de afiliación incierta	x	x

Parte 10. COCOS Y COCOBACILOS GRAM-NEGATIVOS

Familia 1. Neisseriaceae		
Géneros de afiliación incierta		

Parte 11. COCOS GRAM-NEGATIVOS ANAEROBIOS

Familia 1. Veillonellaceae		
----------------------------	--	--

Parte 12. BACTERIAS GRAM-NEGATIVAS QUIMIOLITOTROFICAS

a) Organismos que oxidan amoníaco o nitritos		
Familia 1. Nitrobacteraceae	x	x
b) Organismos que metabolizan azufre	x	x
c) Organismos que depositan óxidos de Fe y Mn.		
Familia 1. Siderocapsaceae	x	x

Parte 13. BACTERIAS PRODUCTORAS DE METANO

Familia 1. Methanobacteriaceae	x	x
--------------------------------	---	---

Parte 14. COCOS GRAM-POSITIVOS

a) Aerobios y/o anaerobios facultativos

Familia 1. Micrococcaceae	x	x
---------------------------	---	---

Familia 2. Streptococcaceae		
-----------------------------	--	--

b) Anaerobios

Familia 3. Peptococcaceae		
---------------------------	--	--

Parte 15. BACILOS Y COCOS ESPORULADOS

Familia 1. Bacillaceae	x	x
------------------------	---	---

Parte 16. BACILOS GRAM-POSITIVOS NO ESPORULADOS

Familia 1. Lactobacillaceae	x	x
-----------------------------	---	---

Géneros de afiliación incierta		
--------------------------------	--	--

Parte 17. ACTINOMICETOS Y ORGANISMOS RELACIONADOS

Grupo Coryneforme de bacterias

Familia 1. Propionibacteriaceae

Orden I. Actinomycetales

Familia 1. Actinomycetaceae		
-----------------------------	--	--

Familia 2. Mycobacteriaceae	x	x
-----------------------------	---	---

Familia 3. Frankiaceae		
------------------------	--	--

Familia 4. Actinoplanaceae	x	
----------------------------	---	--

Familia 5. Dermatophilaceae		
-----------------------------	--	--

Familia 6. Nocardiaceae		x
-------------------------	--	---

Familia 7. Streptomycetaceae	x	x
------------------------------	---	---

Familia 8. Micromonosporaceae	x	x
-------------------------------	---	---

Manual of Determinative Bacteriology, presentes en ambientes acuáticos.

Ahora bien, mientras la flora bacteriana de las aguas interiores muestra una marcada relación con la flora del suelo, el océano permite el desarrollo de una flora marina autóctona.

El medio ambiente marino generalmente se divide para su estudio ecológico en dos regiones: planctónica y béntica. La primera representa el medio ambiente de los organismos flotantes y la segunda el de los organismos epónticos (unidos) o periphyton y los organismos sedentarios o verdadera flora y fauna del fondo del mar que viven en el suelo marino; los microbios de este hábitat a veces se llaman epipélicos (que viven en el fango).

Entre las principales características de las bacterias marinas tenemos:

1.- La mayoría de las bacterias marinas son halófilas, o sea necesitan NaCl para su óptimo desarrollo. De acuerdo a ZoBell y Uphan, crecen mejor a una concentración de sal del 2.5 al 4.0%; no crecen o lo hacen muy pobremente en medios de agua dulce. La concentración de sal del mar que es de 3.5% aproximadamente representa la concentración óptima de sal para las bacterias marinas auténticas.

La relación de las bacterias marinas con la salinidad no es como regla osmótica sino que tiene que ver con la proporción de cationes en el agua. Las bacterias necesitan, un cierto mínimo de iones Na y algunas requieren además iones Cl^- . Aparentemente el sodio está involucrado en el transporte de sustancias hacia el interior de las células; no obstante, muchas bacterias crecen mejor en medios con agua de mar que en soluciones isotónicas de NaCl. Por lo tanto, la composición iónica del agua de mar, además

de proveer la cantidad necesaria de iones Na y - para aquellos organismos, que los requieren - de iones Cl^- , parece tener un efecto favorable sobre el crecimiento de las bacterias marinas en general.

Larsen en 1962 clasificó a las bacterias marinas, cuya concentración óptima de sal es del 2 al 5%, como débilmente halófilas en contraste con los organismos moderada y extremadamente halófilos, cuyas concentraciones óptimas de NaCl son del 5 al 20% y del 20 al 30%, respectivamente.

Además de las bacterias marinas existen en el hábitat marino otras que son solamente halotolerantes, o sea, capaces de crecer en medios de agua dulce. Sin embargo, son de poca importancia en el mar abierto y se les encuentra cerca de las costas, principalmente en ensenadas y estuarios.

2.- La gran mayoría de las bacterias marinas son gram-negativas; ZoBell encontró en las costas del sur de California una proporción del 80% de especies gram-negativas. En placas de agar inoculadas con agua de mar, - esta proporción se eleva a un 95%. Estudios en el mar del Norte, en el Báltico y en el mar Arabe, produjeron resultados similares; al comparar esto con la microflora del suelo, encontramos con que en esta hay sólo un 27 a un 36% de gram-negativos.

3.- La mayoría de las bacterias que se encuentran en el mar son móviles. Según ZoBell del 75 al 85% de cultivos puros examinados poseen flagelos.

4.- Las bacterias esporuladas no parecen encontrarse ampliamente - distribuidas en el agua de mar. Su importancia es mayor en los sedimentos; se han aislado varias especies del género Bacillus a partir del fango marino

alrededor de la costa del pacífico. Los Clostridia suelen encontrarse en el lodo de las aguas costeras contaminadas.

5.- Las bacterias marinas son en general anaerobias facultativas, pero crecen mejor en presencia de oxígeno. Existen relativamente pocos aerobios obligados y aún menos anaerobios obligados.

6.- Las bacterias marinas generalmente crecen mucho más lentamente que la mayoría de las bacterias del suelo. Así, en placas de agar inoculadas con muestras de suelo e incubadas a su temperatura óptima, se puede realizar la cuenta de colonias después de 2 a 7 días, mientras que después de la inoculación con agua de mar o sedimento marino, el número máximo de colonias visibles se alcanza sólo después de 14 días.

7.- La mayoría de las bacterias marinas pueden utilizar nutrimentos presentes en concentraciones mínimas. Esta habilidad es el prerequisite para su crecimiento en el agua de mar, la cual es muy pobre en nutrientes. Es más, algunas bacterias marinas sólo pueden encontrar suficiente alimento cuando crecen sobre partículas de desecho donde las concentraciones nutricionales, debidas principalmente a la adsorción, son mejores que en el agua.

8.- La adaptación a las pequeñísimas concentraciones de nutrimentos en el agua de mar puede causar el marcado pleomorfismo que muchas bacterias marinas presentan en los cultivos. Los cultivos puros tanto en medios sólidos como en líquidos, frecuentemente muestran las más diversas formas celulares. Los organismos que normalmente son bacilos pueden encontrarse como cocos, vibrios, filamentos o espirilos. En los cultivos viejos se puede observar ramificación de los filamentos. Este pleomorfismo puede, por supues

to, presentarse en las bacterias de otros hábitats, pero no ocurre tan frecuentemente como en las bacterias marinas.

9.- Muchas de las bacterias marinas pueden crecer a temperaturas - muy bajas, entre 0 y 4°C. Su temperatura óptima frecuentemente se encuentra entre 18 y 22°C y la máxima es sólo unos cuantos grados mayor. La proporción de organismos psicrófilos en el medio marino es muy grande; son principalmente psicrófilos facultativos que crecen bastante bien a 0°C, pero cuya temperatura óptima es de 20°C o más. Morita estableció que también existen los psicrófilos obligados en el mar, esto es, organismos cuyo crecimiento es óptimo por debajo de los 20°C. Considerando el hecho de que cerca de un 90% del mar tiene una temperatura que está permanentemente por debajo de los 5°C, la importancia de las bacterias psicrófilas en este hábitat es mucho mayor de lo que en un principio se creyó.

10.- Como grandes partes del océano deben considerarse como mar profundo; las bacterias barófilas y barotolerantes son obviamente importantes. Sin embargo, en las zonas superficiales también hay numerosas bacterias barofóbicas que son inhibidas por presiones de más de 100 atm.

11.- La proporción de bacterias proteolíticas parece ser mayor en el mar que en el agua dulce y el suelo. Casi todas las bacterias C-heterotróficas marinas pueden liberar amoníaco a partir de peptona y casi tres cuartas partes de ellas licúan la gelatina. Por otro lado, los organismos sacarolíticos desempeñan un papel mucho menor en el mar que en otros hábitats; pero no obstante el predominio de las bacterias proteolíticas, difícilmente hay algún compuesto orgánico natural que no pueda ser atacado por alguna

bacteria marina y usado como nutrimento, como son los organismos que descomponen sustancias de alto peso molecular como la celulosa, el agar, el alginato, la quitina, los hidrocarburos, fenoles, etc.

12.- En el ambiente marino también existen las bacterias capaces de llevar a cabo la desnitrificación (reducción de nitratos via nitritos hasta ni trógeno libre) y también aquellas que reducen los sulfatos hasta sulfuro de hidrógeno. Ambos grupos prosperan en los ambientes acuáticos anaerobios y en los sedimentos; pero mientras que el número de bacterias desnitrificantes es grande, hay pocos reductores de sulfatos, de los cuales el género Desulfovibrio es particularmente importante.

13.- Morfológicamente la forma de la gran mayoría de las bacterias marinas corresponde a los cuatros tipos básicos: cocos, bacilos, vibrios y espirilos. Las formas filamentosas ramificadas y rectas se pueden encontrar en pequeñas cantidades. En el mar del Norte los micrococos son importantes. A menudo, se forman agregados celulares de varios componentes.

14.- El mar es el punto central de la distribución de las bacterias luminosas. Estas son capaces de transformar la energía química en energía luminosa y producir una brillante luz verdosa o azulada. Existen bacterias luminosas de vida libre y otras que viven como simbiotes en los órganos lu minosos de los cefalópodos y peces óseos. Hasta ahora, sólo se conoce una forma de agua dulce, Vibrio albensis.

15.- En el agua de mar y algunos sedimentos marinos la proporción de organismos pigmentados es notablemente grande. ZoBell reportó en 1946 que más de la mitad de las bacterias que viven en el mar son pigmentadas. En cultivos sobre Extracto de levadura - peptona - agar (medio nutritivo

2216 de ZoBell), la proporción de bacterias pigmentadas variaba entre 10 y 95%. Las formas amarillas, naranjas, cafés y rojas son las más frecuentes, mucho más escasas son las violetas, azules, negras o verdosas. También se encuentran las bacterias con color verde, azul o amarillo fluorescente, pero sólo en un porcentaje muy bajo.

16.- Además de las bacterias C-heterotróficas también hay foto y quimioautotróficas en el medio marino. Los organismos fotoautotróficos están presentes en donde quiera que haya sulfuro de hidrógeno y suficiente luz, o sea, en el fondo de los alrededores inmediatos de las costas, como las bahías encerradas, albercas de agua de mar dentro del área alcanzada por la marea, sobre algas abandonadas por el agua etc.

Las bacterias quimioautotróficas se encuentran tanto en aguas costeras como en el mar abierto. Las especies de Thiobacillus, que oxidan el azufre se han encontrado particularmente en aquellos hábitats marinos - en que se produce sulfuro de hidrógeno, por ejemplo, en las aguas costeras contaminadas, en las profundidades del mar Negro y en los sedimentos que contienen azufre.

Las bacterias nitrificantes (que oxidan el amoníaco a nitratos y estos a nitratos) se han demostrado en el mar del Norte y en el Atlántico. En el medio marino también se encuentran las bacterias del hierro y el manganeso que oxidan el Fe^{2+} y el Mn^{2+} a Fe^{3+} y a Mn^{3+} , respectivamente.

En las restringidas áreas marinas que tienen agua salobre - (menos del 3% de sal) existen ciertas bacterias cuyo hábitat específico es este. Estos organismos muestran un crecimiento escaso o no crecen en me-

dios de agua dulce y por otro lado, a menudo son inhibidos por concentraciones salinas de más del 3%, en contraste con muchas bacterias marinas genuinas que son marcadamente inhibidas por concentraciones de sal menores de 1.5%. Experimentos de adaptación han demostrado que por lo menos algunas de las bacterias de aguas salobres tienen un óptimo de salinidad estable de entre 0.5 y 2%.

Frecuentemente las únicas diferencias entre las bacterias marinas y las formas terrestres estrechamente relacionadas, con reacciones metabólicas casi idénticas, son el carácter psicrofílico facultativo y el carácter halófilico de las formas marinas.

Particularmente comunes en el medio marino son los miembros de los géneros Pseudomonas, Vibrio, Spirillum, Acromobacter, Flavobacterium y Bacillus en los sedimentos. Todos estos géneros también contienen numerosas especies de bacterias del suelo y agua dulce. Debido a la estrecha relación entre las formas terrestres más comunes y las bacterias marinas autóctonas genuinas, muchas veces se ha asumido que las bacterias que viven en el mar son sólo formas terrestres adaptadas a la vida marina. Sin embargo, MacLeod cree que, aunque la habilidad para vivir en el mar es la única característica que distingue claramente unas bacterias de otras, esta única característica es con todo, suficiente para delimitarlas porque bajo condiciones naturales - por ejemplo cuando un río entra al mar, las bacterias de agua dulce que son acarreadas no se adaptan a vivir en él. Este autor asume que, por otro lado, sólo unos cuantos pasos mutacionales son necesarios - para cambiar una forma marina en una que sobreviva en un ambiente no ma-

rino. Ambas bacterias, marinas y terrestres pueden haberse desarrollado a partir de ancestros marinos comunes.

3.1.2 Clasificación de las Formas Marinas

A partir del trabajo de Linneo pareció que todas las plantas y animales del mundo podrían colocarse en categorías definidas que indicarán el curso del desarrollo filogenético de los organismos y grupos de organismos a través de los tiempos geológicos. Esto condujo a un gran entusiasmo por la taxonomía, más aún por la de los microorganismos entonces conocidos, pues para establecerla sólo se requería un microscopio y unos cuantos instrumentos, ya que la ecología y la fisiología se volvieron un estorbo para las limitadas técnicas disponibles.

Los criterios seleccionados para la clasificación fueron generalmente aquellos fáciles de discernir a través del microscopio y a menudo no fueron asignados críticamente, lo que condujo con el tiempo, a una completa anarquía en la clasificación.

En la nueva taxonomía, los aspectos fisiológicos y ecológicos tienen que ser considerados aunque la clasificación sea filogenética. Ya no es suficiente definir un tipo por un espécimen seco y probablemente dañado. El organismo debe estudiarse a través de todo el rango del potencial de su medio ambiente, de su respuesta a estos cambios observados y registrados y de la futura ruta de cambio, la cual debe ser determinada.

Puede ser necesario establecer una clasificación provisional para adaptar la fisiología y la ecología junto con las diferencias morfológicas y luego tratar de correlacionar ésta con la taxonomía puramente morfológica original.

A menudo existe una enorme dificultad en establecer la diferencia entre los microorganismos marinos y los que no lo son pues frecuentemente tienen la misma morfología y muchos de ellos, los mismos sistemas enzimáticos. Otra gran dificultad es que hay insuficientes caracteres morfológicos para definir un gran número de especies, en los que su genética es poco conocida y hay a menudo una considerable superposición de caracteres.

Es quizá una pena que el concepto de las especies de Linneo haya sido transferido a estos organismos unicelulares y que, en consecuencia se requieran organismos tipo para las bacterias y las diatomeas no planctónicas. Los tipos son por necesidad, rígidos y cualquier desviación del tipo es demasiado frecuentemente considerada como una nueva especie, o aún como un nuevo género sin ningún intento por considerar los posibles grados de variación.

En el caso de las bacterias, los cultivos tipo, aún cuando se deriven de una sola célula, pueden y de hecho varían en su morfología y características bioquímicas después de ser mantenidas en un medio artificial durante cierto tiempo. Una dificultad es que algunas cepas del mismo microorganismo, por ejemplo Desulfovibrio varían mucho más que otras tanto en morfología como en reacciones enzimáticas, de manera que a menudo es imposible demarcar una norma.

El principal criterio en la taxonomía bacteriana es la morfología; primero de acuerdo a su forma, y luego de acuerdo al número y posición de los flagelos, si están presentes.

a) Cocos.- Las formas esféricas se conocen como cocos y se han clasificado de varias maneras. Las más antiguas las diferencian por la variación de células que presentan; los géneros de interés para los biólogos marinos, en estas clasificaciones son Micrococcus y Sarcina. La mayoría de los cocos son inmóviles, pero algunas formas bacilares de bacterias que se han considerado como de sarrolladas a partir de formas cocoides, tienden a retroceder a su antigua forma, como lo hacen muchos Corynebacteria marinos, por ejemplo.

b) Bacilos.- Las bacterias en forma de bacilos pueden diferenciarse en base a su capacidad de formar esporas termoresistentes. Aquellos que lo hacen se llaman Bacillus si son aerobios facultativos y Clostridium si son anaerobios obligados. Los bacilos no esporulados se clasifican en primer lugar, por su reacción a la coloración de Gram.

Los bacilos gram negativos, especialmente aquellos con flagelos polares predominan en el medio acuático; según su morfología, los bacilos rectos corresponden al género Pseudomonas, los bacilos curvos al género Vibrio y los bacilos en espiral a Spirillum. Estas diferencias morfológicas tienen algunas correlaciones bioquímicas; muchos de los bacilos rectos producen un pigmento verdoso soluble en agua; muchos bacilos curvos son patógenos, etc., pero estas diferencias no son absolutas y hay muchos grados intermedios. Las Pseudomonas marinas son típicamente pleomórficas en su ambiente natural, tanto que igualan la morfología del sumamente pleomórfico género Mycoplasma, descrito por Gray y Thomton (1928).

Los bacilos gram positivos no esporulados están considerados como superiores en la escala del desarrollo a las especies gram negativas ya que tienden a formar micelios primitivos, y se puede conseguir un aparente desarrollo filogenético en la complejidad del micelio, desde Corynebacterium, a través de Mycobacterium y Nocardia, hasta Actinomyces. Algunas de estas formas se han encontrado en el medio marino.

En el medio ambiente marino no se encuentran todos los grupos de bacterias que están enlistadas en el Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. A continuación se enumeran y describen brevemente las familias presentes (números romanos) y sus géneros más comunes.

1.- BACTERIAS FOTOTROFAS

ORDEN I. RHODOSPIRILLALES

I.- Rhodospirillaceae. Células esféricas con forma de bacilos cortos o largos, de vibrios o espirilos, gram negativos. Poseen un sistema membranoso fotosintético interno continuo con la membrana citoplásmica de tipo vesicular, lamelar o tubular. Generalmente son microaerófilos. El desarrollo fotótrofo depende de substratos orgánicos simples los cuales son fotoasimilados o sirven como donadores de electrones para la asimilación del CO₂. El hidrógeno molecular puede servir como donador de electrones en muchas cepas, al igual que los sulfuros y sulfatos, pero no pueden utilizar el azufre elemental.

Los principales géneros son Rhodospirillum, Rhodopseudomonas y Rhodomicrobium. Los dos primeros son móviles por flagelos polares y el tercero por flagelos periféricos.

II.- Chromatiaceae.- Células gram negativas de forma esférica, ovoide, de vibrio y de espirilo, móviles e inmóviles; los primeros por flagelos polares. Tienen un sistema membranoso fotosintético interno continuo con la membrana citoplásmica con bacterioclorofilas a o b, carotenoide de los grupos 1, 3 y 4 o tetrahidrospirilloxanthina. La mayoría de las especies son anaerobios estrictos y capaces de asimilación fotolitotrófica del CO_2 en presencia de sulfuros y azufre. El azufre elemental se acumula en el interior de las células. Sus principales géneros son Chromatium, Thiocystis, Thiosarcina y Thiospirillum.

III.- Chlorobiaceae.- Bacterias verdes del azufre, son esféricas, ovoides o en forma de bacilos. Sólo el género Chloropseudomonas es móvil por medio de flagelos polares, los demás son inmóviles. En presencia de sulfuros, se depositan glóbulos de azufre elemental fuera de la célula, nunca dentro de ellas. Los fotopigmentos están característicamente localizados en las vesículas de chlorobium que están unidas a la membrana citoplásmica. Todos son aerobios estrictos y fotótrofos obligados; capaces de asimilación fotolitotrófica del CO_2 en presencia de azufre y sulfuros los cuales son fotooxidados a sulfatos. La fijación del nitrógeno molecular ha sido demostrada en algunas cepas. Sus principales géneros son Chlorobium y Chloropseudomonas.

2.- BACTERIAS DESLIZANTES

I.- Cytophagaceae. Células gram negativas en forma de bacilos simples o filamentosos que pueden ser helicoidales, ramificados o con vaina. Los primeros son móviles por deslizamiento. Quimioorganótrofos con metabolismo respiratorio o fermentativo. Las células tienen colores que varían de amari-

llo, naranja a rojo. Generalmente están asociadas a algas y algunas atacan la celulosa.

II.- Beggiatoaceae. Filamentos incoloros que contienen células en cadenas; son flexibles y móviles por deslizamiento, gram negativos. Son mixótrofos o quimioorganótrofos, su metabolismo es respiratorio y usan oxígeno molecular como aceptor terminal de electrones. Son aerobios o microaerófilos y no forman pigmentos carotenoides. Se distinguen por su habilidad para depositar gránulos de azufre cuando crecen en presencia de H_2S o por formar una bien definida vaina alrededor de los filamentos. En el medio marino encontramos a los géneros Beggiatoa y Thioploca.

III.- Leucotrichaceae. Filamentos largos compuestos de células cortas cilíndricas u ovoides, incoloras y no ramificadas. Normalmente se encuentran unidas a substratos sólidos por medio de grapas poco notables. Los filamentos no se deslizan. Se parecen a las algas verde azules en muchos aspectos pero difieren de ellas en que no forman pigmentos fotosintéticos. Son aerobios estrictos, quimioorganótrofos o quimiolitótrofos. El género Leucothrix no forma gránulos de azufre ni en hábitats con gran contenido de H_2S y Thiothrix los forma en el interior de la célula.

IV.- Achromatiaceae. Células esféricas, ovoides o cilíndricas. Móviles por movimientos lentos y espasmódicos (¿deslizamiento?). Pueden contener inclusiones de azufre o de carbonato de calcio. Microaerófilos y aparentemente requieren sulfuros. Son gram negativas. Achromatium volutans suele crecer sobre restos de algas marinas y en aguas que contienen H_2S .

4.- BACTERIAS GEMANTES Y/O CON APENDICES

a.- Hyphomicrobium. Bacilos con extremos en forma de punta; - producen crecimientos filamentosos mono y bipolares (hifas) de diferentes longitudes con 0.3 a 0.4 micras de diámetro cuando están teñidos. Se multiplican por gemación en la punta de las hifas; son quimioorganotróficos; requieren CO₂ para crecer. Son aerobios pero crecen anaeróbicamente en presencia de nitratos aunque no se puede detectar acumulación de nitritos. Su principal especie es Hyphomicrobium vulgare.

b.- Caulobacter. Células bacilares fusiformes o vibrioides gram negativas, quimioorganotróficas con metabolismo estrictamente respiratorio; a menudo son pigmentados, algunos con pigmentos rojos o naranjas no difusibles y otros con pigmentos cafés o café-rojizo difusibles. Son aerobios estrictos; su principal especie marina es Caulobacter maris.

5.- ESPIROQUETAS

I.- Spirochaetaceae. Bacterias unicelulares delgadas, flexibles enrolladas en espiral con una o más vueltas completas en la hélice. Se multiplican por fisión transversa. Son móviles con tres tipos de movimiento: por rotación rápida en el eje largo de la hélice, por flexión de las células o por locomoción a lo largo de la hélice (sacacorchos). No forman endosporas, son quimioheterotróficos, aerobios, anaerobios o anaerobios facultativos. En el océano se encuentran los géneros Spirochaeta, Cristispira (comensal de moluscos uni y bivalvos).

6.- BACTERIAS CURVAS Y ESPIRALES

I.- Spirillaceae. Bacilos curvos, helicoidales y rígidos, con menos de una vuelta completa hasta varias vueltas. Móviles, nadan en línea recta con un característico movimiento de sacacorchos. Pueden poseer un flagelo polar o un haz polar de varios flagelos. Algunas especies son aerobias estrictas o microaerófilas obligados y requieren oxígeno como aceptor terminal de electrones. Otras son anaerobias pero pueden crecer en condiciones microaerofílicas. Son quimioorganótrofos incapaces de fermentar carbohidratos. Algunos producen un pigmento fluorescente verde amarillento soluble en agua. Pueden ser de vida libre o parásitos; algunos son patógenos y el principal género es Spirillum.

7.- BACILOS Y COCOS GRAM NEGATIVOS AEROBIOS

I.- Pseudomonadaceae. Son bacilos rectos o curvos gram negativos, móviles con flagelos polares. Son quimioorganótrofos con metabolismo respiratorio, nunca fermentativo. No fijan el nitrógeno y pueden usar diferentes compuestos de carbono como única fuente de este elemento. Aerobios estrictos, crecen desde 4 hasta 43°C. El principal género es Pseudomonas el cual es muy importante en la mineralización de la materia orgánica. Son las bacterias más comunes del medio ambiente marino, la mayoría de las cepas son frecuentemente pleomórficas en su ambiente natural, pero esta propiedad disminuye en cultivos viejos o prolongados.

II.- Azotobacteriaceae. Células grandes, predominantemente bacilares, aunque pueden ser ovales, pero cambia dramáticamente su morfología -

con el tiempo y los cambios en las condiciones de cultivo; se presentan a menudo en pares. Son móviles con flagelos peritricos o polares y algunos son inmóviles. Gram negativos pero pueden ser gram variables y no producen endosporas. Son heterotróficas y pueden fijar el nitrógeno molecular para lo cual requiere ciertos elementos traza, en especial el molibdeno (catalizador específico de la fijación del nitrógeno). Sus principales géneros son Azotobacter y Azomonas.

V.- Halobacteriaceae. Bacilos y cocos que requieren grandes concentraciones (más de 2 M o 12%) de cloruro de sodio para crecer. Se reproducen por división binaria. Son quimioorganótrofos con metabolismo respiratorio, nunca fermentativo; obtienen su energía de aminoácidos; se conoce muy poco sobre la utilización de carbohidratos. Contienen carotenoides siendo su principal pigmento la bacterioruberina. Su género más importante en el medio marino es el Halo-bacterium, que se encuentra en el mar Muerto y otros lagos salados.

Géneros de Afiliación Incierta.

a) Alcalígenes. Son bacilos, cocobacilos o cocos móviles por uno a cuatro (ocasionalmente hasta 8) flagelos peritricos. Son quimioorganótrofos con metabolismo respiratorio, nunca fermentativo y usan O_2 como aceptor final de electrones. Aerobios estrictos aunque algunas cepas son capaces de llevar a cabo respiración anaerobia con nitratos o nitritos como aceptores. No fijan el nitrógeno gaseoso; crecen entre 20 y 37°C . La especie más frecuente en el océano es A. aquamarinus.

8.- BACILOS GRAM NEGATIVOS ANAEROBIOS FACULTATIVOS

I.- Enterobacteriaceae. Pequeños bacilos gram negativos móviles

por flagelos peritricos, o inmóviles; pueden tener cápsula o carecer de ella. Son quimioorganotróficos con metabolismo respiratorio y fermentativo con producción de ácido. Esta familia generalmente está considerada como adventicia en el medio ambiente marino, pero existen registros de cepas marinas de Escherichia en el océano Indico y este género es también conocido por estar en el tracto intestinal de los mamíferos de sangre caliente como las ballenas, morsas y focas. Serratia fue aislada a partir del océano por ZoBell y Feltham pero no parece ser muy común en ese medio.

II.- Vibrionaceae. Bacilos rígidos gram negativos, rectos o curvos; generalmente móviles por flagelos polares. Quimioorganótrofos con metabolismo respiratorio y fermentativo. Son anaerobios facultativos y no tienen requerimientos nutricionales exactos. El género principal es Vibrio y en el mar abundan las especies V. anguillarum y V. fischeri. También se encuentra en este hábitat el género Photobacterium que en condiciones adecuadas es luminiscente, y se encuentra en el agua de mar y en los órganos luminosos de algunos peces y cefalópodos, al igual que el género Lucibacterium.

Géneros de Afiliación Incierta.

a) Flavobacterium. Células que varían de cocobacilos a bacilos delgados, móviles por flagelos peritricos o inmóviles. En medios sólidos presentan pigmentos amarillos, naranja, rojo o cafés que pueden variar con el medio y la temperatura. Son quimioorganótrofos con metabolismo respiratorio. Sus especies marinas son F. uliginosum y F. lutescens.

9.- BACTERIAS GRAM NEGATIVAS ANAEROBIAS

Géneros de Afiliación Incierta.

a) Desulfovibrio. Bacilos curvos, a veces sigmiodales o espiriloidales. Su morfología está influida por la edad y el medio ambiente. Móvil por medio de flagelos polares, no forman endosporas. Químicoorganótrofos, obtienen su energía por respiración anaerobia reduciendo sulfatos u otros compuestos reducibles del azufre hasta H_2S . Su principal especie es Desulfovibrio desulfuricans.

12.- BACTERIAS GRAM NEGATIVAS QUIMIOLITOTROFICAS.

A) Organismos que Oxidan Amoníaco a Nitritos.

I.- Nitrobacteraceae. Células bacilares, elipsoidales, esféricas, espirilares o lobulares sin endosporas. Flagelos subpolares o peritricos y a menudo ausentes; gram negativos. Derivan su energía de la oxidación del amoníaco o de nitritos y satisfacen sus necesidades de carbono fijando CO_2 . Son aerobios obligados y no requieren factores de crecimiento. Son ricos en citocromos pero no se han demostrado otros pigmentos. Los principales géneros son: Nitrobacter, Nitrospira y Nitrococcus que oxidan nitritos a nitratos; Nitrosomonas, Nitrosospira y Nitrosococcus que oxidan amoníaco a nitritos.

B) Organismos que Metabolizan Azufre.

a) Thiobacillus. Pequeños bacilos gram negativos, móviles por un solo flagelo polar (2 especies son inmóviles). Derivan su energía de la oxidación de uno o más compuestos de azufre reducidos total o parcialmente inclu-

yendo sulfuros, azufre elemental, tiosulfatos, politionatos y sulfitos. El producto final son los sulfatos pero pueden acumular azufre o politionatos. Este género incluye especies autótrofas estrictas que obtienen su carbono del CO_2 , autótrofas facultativas y al menos una especie que requiere materia orgánica además del azufre reducido. Son aerobios obligados.

b) Thiobacterium. Células bacilares que contienen uno o más gránulos de azufre y que están embebidas en masas gelatinosas esféricas cuando flotan libremente o arborescentes cuando están unidas a un substrato sólido. Son inmóviles.

c) Thiovulum. Células redondas u ovales gram negativas de 5 a 25 micras de diámetro con el citoplasma acumulado en un extremo y el resto ocupado por una vacuola. Normalmente contiene inclusiones ortorrómbicas de azufre que llegan a llenar a la célula por completo. Fuertemente móviles por flagelos peritricos. Las células se caracterizan por un organelo fibrilar polar cuya función no se conoce. Son microaerófilos.

d) Thiospira. Espirila con extremos ahusados e inclusiones de azufre. Móviles por uno o varios flagelos polares, incoloras y microaerófilas.

C) Organismos que Depositan Oxidos de Fierro y Manganeso.

I.- Siderocapsaceae. Células esféricas, elipsoidales o bacilares, pueden poseer cápsulas gruesas o delgadas; pueden depositar óxidos de fierro y/o manganeso sobre sus cápsulas o en material extracelular.

13.- BACTERIAS QUE PRODUCEN METANO

I.- Methanobacteriaceae. Las células son bacilos o cocos, móviles

o inmóviles; gram positivos o gram negativos; no forman esporas y son anaerobios muy estrictos y obtienen su energía para crecer formando metano por medio de la reducción de CO_2 utilizando electrones generados en la oxidación de hidrógeno y formatos o por fermentación de compuestos como el acetato y el metanol con la formación de metano y CO_2 . Es un grupo sumamente especializado fisiológicamente. Los géneros presentes en el mar son Methanobacterium, Methanosarcina y Methanococcus.

14.- COCOS GRAM POSITIVOS

I.- Micrococcaceae. Células esféricas gram positivas de 0.5 a 3.5 micras de diámetro que se dividen en más de un plano y forman racimos o paquetes regulares o irregulares. Móviles o inmóviles. Son quimioorganótrofos con metabolismo respiratorio o fermentativo, aerobios o anaerobios facultativos. El género marino es Planococcus.

15.- BACILOS Y COCOS ESPORULADOS

I.- Bacillaceae. Células bacilares gram positivas con endosporas. Móviles por flagelos laterales o peritricos o inmóviles, aerobios facultativos o anaerobios. Su género Bacillus es muy frecuente en los sedimentos; está caracterizado por tener esporas centrales y terminales y son aerobios y anaerobios facultativos y gram positivos. Muchas de las cepas marinas son pigmentadas; las rosas y amarillas son las más comunes. Clostridium es anaerobio estricto, con esporas terminales o centrales, con reacciones bioquímicas que varían desde proteolíticos hasta sacarolíticos; algunas especies pueden fijar el nitrógeno

no disuelto. Carecen de catalasa.

17.- ACTINOMICETOS Y ORGANISMOS RELACIONADOS

I.- Mycobacteriaceae. Bacilos rectos o ligeramente curvos a veces ramificados; presentan crecimiento filamentoso o micelial pero que se rompe fácilmente en formas bacilares o cocoides. Inmóviles, sin endosporas, conidias ni cápsulas. Son aerobios y tienen paredes celulares grandes con gran contenido de lípidos incluyendo ceras y ácidos grasos de cadena larga, crecen lenta o muy lentamente. El Mycobacterium marinum se suele aislar de peces enfermos y puede provocar granulomas cutáneos en el hombre.

II.- Nocardiaceae. Actinomicetos aerobios que tienen pared celular tipo IV sensu consistente de ácido meso-diaminopimélico, arabinosa y galactosa como principales componentes. Son gram positivos. La producción de micelio puede ser rudimentaria o extensa y la producción de esporas asexuales varía con el género. Los principales representantes en el medio marino son Nocardia marina y Nocardia atlántica; ambos digieren el agar, descomponen el ácido alginico e hidrolizan la celulosa.

3.2 HONGOS

3.2.1 Generalidades

Hasta hace unas décadas, difícilmente se tenía la noticia de hongos que vivieran en el mar. Sin embargo, desde entonces se ha establecido que están ampliamente distribuidos en el hábitat marino. Representantes de las cuatro clases de hongos se encuentran en este ambiente y se ha hecho evidente que algunos de ellos sólo crecen en agua de mar y que requieren NaCl. Además de estos hongos marinos halófilos, hay muchas formas halotolerantes de origen limnico o terrestre.

Todos los hongos son organismos C-heterotróficos y por ende, dependen de la presencia de material orgánico. En el agua encontramos tanto formas saprófitas, como parásitas que atacan a una gran variedad de plantas y animales acuáticos.

La mayoría de los hongos acuáticos requieren oxígeno libre, y - además de proteínas, azúcares, almidón y grasas pueden descomponer pectinas, hemicelulosas, celulosa, lignina y quitina.

Algunos hongos crecen tanto en aguas ácidas como en alcalinas, a pH de 3,2 a 9.6 . Otros hongos están limitados a uno u otro tipo de agua.

De la misma forma, los hongos difieren grandemente con respecto a sus requerimientos de temperatura. La mayoría son mesofílicos. Los psicrofílicos existen pero, hasta ahora no se ha encontrado que jueguen un papel importan

te. Algunos hongos acuáticos pueden crecer en un intervalo de temperatura de 1 a 33°C.

Los hongos son mucho más variados, morfológicamente hablando, que las bacterias y tienen células mucho mayores; además, son eucariotes, es decir, poseen un núcleo verdadero y a menudo producen complicados cuerpos fructíferos.

Hay hongos unicelulares pero también existen los multicelulares con micelios extensos. Se dividen en cuatro clases:

- a) Myxomicetos (hongos plasmodiales)
- b) Phycomycetos (hongos parecidos a algas)
- c) Ascomycetos
- d) Basidiomycetos

Los ficomicetos están considerados como hongos inferiores; los ascomycetos y basidiomycetos como hongos superiores. Con los últimos se clasifican los Fungi Imperfecti, en los que no se conoce reproducción sexual.

Son los ficomicetos y los ascomycetos los que se encuentran más frecuentemente en el hábitat marino, aunque también se encuentran algunos hongos imperfectos; sin embargo, solo un basidiomiceto ha sido registrado como presente en este medio; un tizón parásito de Ruppia marítima.

Los ficomicetos marinos pueden ser unicelulares, cuya célula incluye las unidades reproductoras; algunos presentan rizoides asimiladores o un micelio extenso. Los ficomicetos parásitos o saprófitos de los estuarios consisten de los primeros dos tipos (unicelulares con rizoides) e incluyen los órdenes Chytridiales, Hypochytriales, Plasmodiophorales, Saprolegniales, Lagenidiales,

Peronosporales y Eccrinales. Los Mucorales encontrados en sedimentos estuari-
nos y en zonas litorales pueden ser de origen terrestre y su función y distribu-
ción en el medio marino se desconoce.

Los ascomicetos tienen talo septado y esporas inmóviles, además
un asca que consiste en una célula con una serie de esporas sexuales formadas
por división meiótica y subsecuentes divisiones mitóticas. La mayoría de los As-
comicetos marinos pertenecen a los Pyrenomycetos.

Los Protoascomicetos o Hemiascomicetos incluyen a las levaduras
que tienen numerosos representantes marinos, aunque parece ser de la opinión ge-
neral que ninguna de las levaduras del hábitat marino tiene características defini-
das que nos permitan considerarlas flora marina verdadera y parece ser que en su
mayoría son formas halotolerantes de origen terrestre. Pertenecen a los géneros
Cándida, Torulopsis, Cryptococcus, Trichosporon y Saccharomyces. Hasta donde
sabemos sólo Metschnikovi (ell) a zobelli y M. krissii pueden con cierta cer-
teza, considerarse levaduras marinas en el sentido estricto ya que sólo crecen
en el hábitat marino.

No hay evidencia de que las levaduras sean esenciales para la
cadena alimenticia en el océano ni de que sean habitantes adventicios, aunque
esta posibilidad no ha sido descartada.

Los hongos superiores deben considerarse como organismos mari-
nos sólo si su crecimiento y reproducción ocurre preferente o exclusivamente en
el mar, u óptimamente a la concentración de sal normal en el océano.

Sólo las levaduras los Ascomicetos más primitivos y los hongos
imperfectos parecidos a las levaduras crecen en el agua libre. Todos los demás

hongos superiores colonizan estructuras sólidas dentro del agua, principalmente plantas vivas y muertas, madera, sedimentos y piedras.

En áreas de agua salobres se encuentran hongos halofílicos que crecen óptimamente a concentraciones de sal de entre 0.5 y 2.5%. Un hongo típico de aguas salobres es Olpidium maritimum. La concentración óptima de sal para su propagación es de 1.3 a 1.7% y no crece en agua dulce.

3.2.2 Clasificación de los Hongos Marinos

Los hongos marinos pertenecen a las siguientes clases: (54)

I. Phycomycetos

II. Ascomycetos

III. Deuteromycetos (Fungi Imperfecti)

A continuación se describen las principales características y órdenes de cada clase.

I. - Phycomycetos. Generalmente son de talo unicelular; si acaso presentan hifas, éstas son no septadas excepto para delimitar el esporangio. Se pueden distinguir los siguientes órdenes:

1.- Hypochytriales. Tienen esporas móviles, uniflageladas con flagelo anterior. Se ha aislado a partir de fuentes marinas al género Anisopidium que pertenece a la familia Anisopidiaceae.

2.- Chytridiales. En su mayoría son unicelulares con esporas móviles - uniflageladas con flagelo anterior. Tienen una membrana quitinosa resistente y pueden unirse en plasmodios. Muchos de ellos son parásitos tanto de plantas -

como de animales marinos. Están representados en el mar por unos doce géneros que pertenecen a cinco familias: Chytridiaceae, Olpidiaceae, Cladochytridiaceae, Phlyctidiaceae y Rhizidiaceae.

3.- Plasmodiophorales. Sus esporas tienen dos flagelos de diferente longitud. El hongo puede presentarse en un estado multinucleado plasmodial. Hay dos géneros marinos principales: Tetramyxa y Plasmodiophora.

4.- Saprolegniales. Tienen esporas con dos flagelos de igual longitud y se abren dentro del esporangio. Todas las familias tienen representantes en el medio marino: Fialiphthoraceae, Ectrogellaceae, Saprolegniaceae y Thraustochytriaceae.

5.- Peronosporales (Pythiaceae). Tienen esporas que maduran fuera del esporangio y que poseen flagelos iguales; su talo es micelial. Están representados en el mar por el género Pythium.

6.- Lagenidiales. Se diferencian de los Peronosporales por tener un micelio rudimentario. Tienen a sus tres familias representadas en el mar: Olplopsidaceae, Lagenidiaceae y Siralpidiaceae.

Además existe un cierto número de hongos de clasificación incierta, que han sido descritos como habitantes del medio ambiente marino.

Un estudio sistemático de los ficomicets y su distribución se ha llevado a cabo en el Instituto de Ciencias del Mar, en Miami, y se han realizado colecciones hechas en aguas sub-tropicales y antárticas. Hasta ahora, la evidencia sugiere una amplia distribución de estos organismos, y parece seguro que el número de especies y géneros aislados a partir de aguas oceánicas aumentará considerablemente en un futuro cercano.

II.- Ascomycetos. Cuando presentan micelio, este tiene hifas septadas; sus esporas son producidas en ascas, normalmente en número de ocho. En el mar existen miembros de la subclase de los Euascomycetes representados por los Pyrenomycetes y de la subclase Protoascomycetes, que son levaduras.

1.- Pyrenomycetos. Sus familias presentes en el medio marino incluyen a Scolecosporeae, con diferentes géneros, de los cuales Lulworthia se presenta sólo creciendo sobre estructuras artificiales del medio marino como la madera, restos de barcos etc., sin embargo, los otros géneros de esta familia crecen sobre las raíces de los mangles en los estuarios y sobre las algas macroscópicas; los miembros de la familia Amerosporae se encuentran creciendo sobre algas marinas y en estructuras artificiales como las ya mencionadas.

2.- Protoascomycetos. A esta subclase pertenecen las levaduras, y aunque se han encontrado un cierto número de levaduras terrestres en los estuarios, parece haber un grupo de estos microorganismos que puede considerarse como endémico en los océanos. Estos pertenecen a dos géneros Cándida y Cryptococcus.

Estudios cuantitativos hechos por Fell (1917) dieron cifras de más de 500 células/l en el océano Indico y unas 5,000 células/l en la región del banco de las Bahamas. Fell también observó que cuando el número de células de algas microscópicas aumenta, el número de levaduras tiende a disminuir y él atribuye esto, tentativamente, a una antibiosis realizada por las algas.

El trabajo de Fell demuestra una distribución interesante. La influencia terrestre aumenta el contenido de levaduras del agua considerablemente, e incrementos y decrementos de las poblaciones pueden atribuirse a las masas de agua. Las aguas ecuatoriales del océano Indico son pobres en levaduras pero

las aguas antárticas intermedias muestran grandes poblaciones de levaduras, que pueden ser un factor importante en la alimentación del zooplancton de éste hábitat (14).

Por otro lado Fell estableció que las levaduras son un grupo halotolerante, y por esto no podemos distinguir las formas marinas de las terrestres en base a sus requerimientos salinos. Algunos criterios para llevar a cabo esta distinción se enlistan en la tabla 3.2.1

III.- Deuteromycetos (Hongos Imperfectos). Dentro de esta clase, son dos los órdenes que tienen representantes marinos: Sphaeropsidiales y Moniliales. Los primeros tienen conidias producidas en picnidias o copas; los segundos las tienen en conidióforos separados. Las familias representadas son -- Sphaeropsidiaceae con picnidia redonda y la Excipulaceae con picnidia más bien cocoide. Los Moniliales tienen tres familias con representantes marinos: Tuberculariaceae, Moniliaceae y Dematiaceae.

La mayoría de los deuteromicetos están asociados con madera y por eso posiblemente sean de origen terrestre, aunque algunos pueden haberse adaptado al hábitat marino.

TABLA 3.2.1 CRITERIOS PARA DISTINGUIR ENTRE LEVADURAS ESTUARINAS Y LEVADURAS MARINAS.

ESTUARINAS	MARINAS
Asociadas a animales	No asociadas a animales
Numerosas especies	Pocas especies
Temperatura máxima de crecimiento 37 - 44°C	Temperatura máxima de crecimiento 26 - 30°C
No crecen a 5°C	Crece a 5°C
Metabolismo fermentativo	Metabolismo oxidativo
Limitada utilización de sustancias orgánicas	Versátil en la utilización de subs- tancias orgánicas

3.3 ALGAS

3.3.1 Generalidades

Las algas constituyen un gran grupo de organismos cuyos representantes varían en tamaño y organización, desde seres microscópicos unicelulares de unas micras de diámetro hasta agregados macroscópicos ramificados y de gran tamaño, como las kelps o algas marinas, que existen en aguas del Pacífico y - que pueden alcanzar longitudes de hasta 30 m. Independientemente de su tamaño el cuerpo de un alga recibe el nombre de talo ya que carece de diferenciación en tallo, raíz y hojas (3).

Las algas son de gran interés pues son organismos completos, capaces de llevar a cabo la fotosíntesis y la síntesis de una multitud de compuestos que constituyen a la célula, a partir de sustancias muy simples.

Las algas se encuentran dondequiera que haya suficiente luz, humedad y los nutrimentos simples que requieren para alimentarse.

Las algas marinas no se encuentran normalmente en aguas del - océano cercanas a los polos ni en profundidades mayores de 50 a 60 metros; sin embargo, en las aguas tropicales que son más calientes y claras y en las que la luz solar es más directa y tienen un período diario más largo, se pueden encontrar a profundidades de hasta 200 m.

Este y otros factores son responsables del fenómeno de zonación, el cual tiene que ver con la estratificación de ciertas clases de algas a ciertas

profundidades y lugares del océano.

3.3.1.1 Morfología.

Muchas especies de algas son unicelulares y pueden ser esféricas bacilares, en forma de mazo o de aguja; otras forman colonias pluricelulares que tienen todas las formas y complejidad concebibles, incluyendo colonias membranosas, filamentos agrupados solos o en racimos, con cada filamento ramificado o sin ramificar. Algunas colonias son sólo agregados de células idénticas que quedan juntas después de la división; otras están compuestas por diferentes clases de células especializadas en funciones particulares.

Las células de las algas pueden ser eucariotes o procariotes. Muchas de estas últimas se parecen a las bacterias en forma y agrupación. En la mayoría de las especies la pared celular es rígida y delgada; en las diatomeas está impregnada de sílice, lo que la hace muy rígida, a menudo esculpida con intrincados diseños, característicos de la especie o variedad.

Las paredes de las algas verde azules, que son procariotes, contienen peptidoglicanos y ácido diaminopimélico, como la de las bacterias.

Las algas móviles como Euglena carecen de pared celular típica y tienen membranas celulares flexibles, llamadas periplastos. Las paredes celulares de muchas algas están rodeadas por una matriz exterior, gelatinosa y flexible secretada por toda la pared celular y que es una reminiscencia de las cápsulas bacterianas.

Con excepción de las algas verde-azul las algas poseen un nú-

oleo verdadero y presentan otras inclusiones, como gránulos de almidón, gotas de aceite y vacuolas. La clorofila y otros pigmentos se encuentran en organelos, unidos a la membrana y llamados cloroplastos. Dentro de estos, en su matriz o estroma, hay unas vesículas membranosas aplastadas llamadas Tilacoides (33).

3.3.1.2 Pigmentos

Todas las algas contienen clorofila a (verde). Las diferencias de color en los cloroplastos se deben a la naturaleza y cantidad de los pigmentos auxiliares que están presentes además de las clorofilas verdes. Estos son los carotenoides y la s ficobilinas.

Hay cinco clorofilas: a, b, c, d y e; los carotenoides se dividen en carotenoides y xantofilas y son liposolubles. Las ficobilinas, que son solubles en agua, son complejos proteicos y pueden ser de dos clases: ficocianina (azul) y ficoeritrina (roja).

3.3.1.3 Nutrición

Las algas marinas tienen patrones de nutrición muy variados y el concepto de que las algas son fotótrofas obligadas debe abandonarse.

Varios autores (Fogg 1963 (15) y otros) demostraron que la luz, no sólo puede actuar como fuente de energía para la fotosíntesis sino que incrementa la habilidad del alga para asimilar materia orgánica como fuente de carbono y puede actuar también, cuando su intensidad es baja, ayudando al organismo a asimilar y fijar carbono a partir de reacciones de baja energía con sustancias

como el acetato. Tales reacciones son económicas para la célula, ya que el material orgánico tiene un contenido energético mayor que el del CO_2 , de manera que se puede liberar más energía por medio de la descomposición de dichas sustancias químicas, requiriéndose además, menos energía para su asimilación y almacenaje.

Fogg demostró en 1964 que un cierto número de microalgas pueden liberar cantidades considerables de productos de la fotosíntesis (carbohidratos simples, ácidos orgánicos pequeños como el acetato y el piruvato etc.) en el agua y que estos pueden estar en forma de materia soluble o en partículas.

Ahora bien, bajo ciertas condiciones, las cuales se alcanzan a menudo en el medio ambiente natural y en los cultivos, estos organismos liberan ácido glicólico. Este ácido glicólico, si permanece accesible para el alga, puede ser reasimilado, usando energía de la fotosíntesis, lo cual resulta económico para la célula. En otras palabras la materia orgánica disuelta y en algunos casos particulada, puede actuar como almacén de material nutritivo, disponible todo el tiempo y en particular cuando la cantidad de luz es insuficiente para una fotosíntesis normal.

Algunos autores señalan que la asimilación fotoautótrofa y la heterótrofa difieren solamente en el modo de producción de ATP. En algunos casos casi cualquier sustrato intermediario de las principales rutas del metabolismo energético pueden substituir a la fotosíntesis; sin embargo, esto no es cierto en todos los casos; por ejemplo, muchos Volvocales, algunas especies de Euglena y muchos Chloococcales, diatomeas planctónicas y algunos dinoflagelados como Gymnodinium simplex son autótrofos obligados y no pueden usar las vías hetero

tróficas.

Algunas especies requieren de donadores orgánicos de hidrógeno para la fotosíntesis, aunque esto puede ser adaptativo, pues se ha encontrado el mismo requerimiento en algunas algas de la antártida, que son capaces de crecer con intensidades de luz muy bajas, usando donadores orgánicos de hidrógeno ya que estos requieren de una menor energía para liberar su hidrógeno.

Los nutrientes inorgánicos que requieren las algas microscópicas se han dividido en dos:

Macronutrientes .- Aquellos que se requieren en concentraciones de 10^{-2} y 10^{-4} molar y son: el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, magnesio y sodio.

Micronutrientes .- Aquellos que se requieren en concentraciones menores a 10^{-5} molar e incluyen: calcio, hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno, boro, cloro, cobalto, níquel y silicio.

Las algas requieren los macronutrientes como constituyentes de su protoplasma y compuestos esenciales como la clorofila, o para propósitos osmóticos, como en el caso del potasio.

Las diatomeas necesitan el silicio en forma de sílice para formar sus exoesqueletos.

El calcio se requiere en pequeñas cantidades y puede reemplazarse, en algunos casos, con estroncio.

Algunas algas requieren magnesio, entre otras cosas, para una fijación óptima del nitrógeno; este requerimiento es más importante para las especies marinas que para las de agua dulce.

El manganeso es necesario para la fotosíntesis y, a niveles menores, para el crecimiento heterótrofo.

El fierro se requiere para el crecimiento autótrofo y, en menor cantidad, para el heterótrofo.

El cloro se usa en la fosforilación acíclica y en la ruta del fosfato de riboflavina en la fosforilación cíclica.

El vanadio puede reemplazar al molibdeno como catalizador en la fijación del nitrógeno, mientras que el molibdeno es necesario para la asimilación general del nitrógeno.

El zinc se necesita, especialmente entre los flagelados, en un cierto número de metaloproteínas que incluyen deshidrogenasas y anhidrasa carbónica; también incrementa la fotosíntesis en algunas algas.

El cobalto se requiere en la cianocobalamina pero puede asimilarse en otras formas.

El cobre se requiere a un nivel de 10^{-7} molar pero a menudo es tóxico por encima de este nivel (el sulfato cúprico es un poderoso algicida).

Los euglenoides, criptomónadas, dinoflagelados y Chrysophyco-phyta, como grupo, parecen requerir cianocobalamina y muchas especies requieren también tiamina y biotina; otras requieren ácido p-aminobenzoico. Cerca de un 50% de las diatomeas, clorofitas y muy pocas algas verde azul son auxotróficas.

Varios autores han sugerido que los micronutrientes pueden ser un factor que controla la sucesión de especies en los "blooms" o florecimientos de las algas marinas. Se cree, y puede ser parcialmente cierto, que la vitamina

B₁₂ (cianocobalamina) que deriva del suelo es la causa de las densas congregaciones de Gymnodinium brevis y G. splendens, dinoflagelados que producen toxinas, que provocan mareas rojas y gran mortalidad en los peces (54).

3.3.2 Clasificación.

La clasificación de las algas, aún cuando en cierta forma es más ordenada que la de las bacterias, puede ser tan variada y tener tantos arreglos como algólogos existan.

Hacia 1836, Harvey reconoció cuatro grupos principales de algas: las algas pardas, rojas, verdes y diatomeas; el color, que es una manifestación de la diferente pigmentación, continúa siendo de primordial importancia en la clasificación de las algas (2).

Hoy en día, aunque los especialistas no se han puesto de acuerdo en los detalles de la clasificación, las algas se clasifican en general en base a las siguientes características:

- 1) Pigmentos: Su naturaleza o composición química.
- 2) Productos de reserva alimenticia o productos asimilatorios de la fotosíntesis, es decir su bioquímica.
- 3) Flagelos: Su tipo y número, inserción y morfología.
- 4) Paredes celulares: Sus características físicas y químicas.
- 5) Características morfológicas de células y talo.
- 6) Ciclos de vida y reproducción: estructuras reproductivas y métodos de reproducción (33).

Las principales divisiones de las algas son las siguientes:

- 1.- Cyanophycophyta (algas azul verdes)
- 2.- Rodophycophyta (algas rojas)
- 3.- Xantophycophyta (algas verde amarillas)
- 4.- Chrysophycophyta (algas doradas)
- 5.- Phaeophycophytas (algas pardas)
- 6.- Bacillariophycophytas (diatomeas)
- 7.- Euglenophycophyta (euglenoides)
- 8.- Cryptophycophyta (criptomónadas)
- 9.- Chlorophycophyta (algas verdes)
- 10.- Pyrrophycomphyta (dinoflagelados) (33)

A los nombres de los grupos de algas se les introdujo el sufijo phyco que quiere decir alga, para indicar que los miembros de estos grupos se encuentran al nivel de organización de las algas (2).

Algunas de las características de cada uno de estos grupos pueden observarse en la tabla 3.3.1

3.3.2.1 Cyanophycophyta.

El nombre común de este grupo es algas verde azules. Son procariotes, el material nuclear no está rodeado por una membrana nuclear. No poseen cloroplastos y los pigmentos están dispersos en lamelas o tilacoides a través del citoplasma. Su color puede variar desde rojo, violeta, café, púrpura, rosa, amarillo, naranja, verde, gris, etc. hasta ser incoloras. La variedad de colores se

- 70 A -

TABLA 3.3.1 ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS PRINCIPALES GRUPOS TAXONOMICOS DE ALGAS (DIVISIONES).

Grupo taxonómico	Clorofila	Carotenoides	Biloproteínas	Productos de almacenamiento	Flagelación y estructura celular.
Cyanophycophyta (Algas verde azules)	a	β -carotenos zeaxantina equinoneona mixoxantofila	C-ficocianina C-ficoeritrina aloficocianina	Almidón cianoficeo parecido al almidón; proteínas	Flagelos ausentes Procariote
Rhodophycophyta (algas rojas)	a rara vez d	β -caroteno zeaxantina $\pm \alpha$ -caroteno	R-ficocianina R-ficoeritrina C-ficocianina C-aloficocianina C-ficoeritrina	Almidón, aceites	Flagelos ausentes
Xanthophycophyta (algas verde amarillas)	a y c rara e	β -caroteno diadinoxantina heteroxantina éster de vauxantina		Crisolaminarina aceites	2 flagelos apicales desiguales
Chrysophycophyta (algas doradas)	a, c ₁ , c ₂	β -caroteno fucoxantina		Crisolaminarina aceites	1 ó 2 flagelos apicales iguales o desiguales; superficie celular cubierta por características espinas.
Phaeophycophyta (algas pardas)	a, c ₁ , c ₂	β -caroteno $\pm \alpha$ -caroteno rara vez ϵ -caroteno fucoxantina		Laminarina, carbohidratos solubles; aceites	2 flagelos laterales.

Bacillariophycophyta (diatomeas)	a, c, c ₂	β -caroteno $\pm\alpha$ -caroteno rara vez ϵ -ca roteno fucoxantina		Crisolaminarina; aceites	Flagelos: 1 en game- tos masculinos; célu- la en dos mitades; pa redes silicificadas con elaboradas marcas
Euglenophycophyta (euglenoides)	a, b	β -caroteno $\pm\gamma$ -caroteno diadinoxantina		Paramilo; aceites	Flagelos: 1, 2 ó 3 igua les, ligeramente apica les; "boca" presente
Chlorophycophyta (algas verdes)	a, b	β -caroteno $\pm\alpha$ -caroteno rara vez γ -caroteno y lipopen luteína		Almidón; aceites	Flagelos: 1, 2, 4 o muchos, igual apical o subapicales
Cryptophycophyta (criptomonas)	a, c ₂	α -caroteno $\pm\beta$ -caroteno rara vez ϵ -caroteno aloxantina	Ficoeritrina Ficocianina	Almidón; aceites	Flagelos: 2 laterales; "boca" presente en al gunas especies.
Pyrrophycophyta (dinoflagelados, fitodinados)	a, c ₂	β -caroteno peridirina		Almidón; aceites	Flagelos: 2 laterales, 1 trasero, 1 circundan te; en la mayoría hay estría longitudinal y transversal y placas angulares.

debe principalmente a la presencia y proporción de las ficobilinas.

Estas algas son extremadamente importantes en la costa, los sedimentos salobres y comunidades epifíticas en los estuarios y en las aguas superficiales tropicales de los océanos.

Sus principales órdenes son:

a) Chroococcales. Son unicelulares o coloniales, sin tricomas y no tienen diferenciación de base o ápice. Posee muchos miembros marinos.

b) Chamaesiphonales. Son unicelulares y a menudo diferenciadas en base y ápice. Entre ellas hay varias epifíticas y algunas que crecen sobre otras algas.

c) Pleurocapsales. Forman talos heterótricos, pero no tricomas definidas; se reproducen por endosporas formadas en esporangios. Se han reportado dos formas marinas.

d) Nostocales. Formas tricomas y hormogonias, sólo tienen ramificación falsa, poseen heterocistos acinetes y endosporas. Son, cuantitativamente hablando, el orden más importante de las algas verde azules registradas en el medio marino y todas sus familias están representadas en éste; por ejemplo, Oscillatoriaceae, Nostocaceae, etc. Los conocidos géneros Anabaena y Nostoc pertenecen a este género.

Cerca de un 50% de las especies marinas de las algas verde azules tienen un requerimiento absoluto de cianocobalamina, pero no de otras vitaminas. Los iones calcio y magnesio les son necesarios para su crecimiento óptimo. Parece requerir el sodio en la concentración aproximada en que este se encuentra en el agua de mar. Al nitrógeno y al amoníaco los usan como fuente de nitrógeno y parece que la mayoría de las especies pueden utilizar nitrógeno orgánico.

Los pigmentos que caracterizan a las algas verde azules incluyen la clorofila a, ciertas biliproteínas o ficobilinas, en especial la ficocianina, que le permiten, - una considerable adaptación de color y que presumiblemente permiten a estos organismos filtrar la luz demasiado fuerte y así vivir densamente en la superficie de los sedimentos, en la zona intersticial y en la superficie del mar en aguas - tropicales.

Se han reportado varios cuerpos reproductores para las algas verde azules:

1) Hormogonas. Son fragmentos del tricoma que pueden consistir de una o muchas células de tamaño uniforme que se desprenden de este. Están cubiertas con una ligera capa mucilaginosa y son muy móviles. Se forman al morir una o varias células intermediarias. En algunos casos, las hormogonas quedan cubiertas por una gruesa vaina pigmentada y reciben el nombre de Hormocistos.

2) Endosporas. Se forman dentro de las células, mediante una rápida sucesión de divisiones en los tres planos y pueden estar contenidas en la célula - original, que se convierte en un esporangio; en algunas especies estas divisiones dan por resultado un cierto número de esporas desnudas, muy pequeñas, dentro de las células originales; estas esporas se conocen como nanocistos.

3) Exosporas. Son esporas unidas a los extremos abiertos del esporangio. Pueden germinar in situ.

4) Planococos. Son hormogonas unicelulares que muestran un movimiento rastrero.

5) Acinetes. También llamados esporas inmóviles, son células grandes, con gruesas paredes y sin vacuolas delgadas.

3.3.2.2 Bacillariophycophyta

Los miembros de este grupo son las diatomeas, y debido a la relativa estabilidad de los esqueletos de estos organismos y a su abundancia en sedimentos recientes y fósiles, han sido estudiadas en detalle desde la segunda mitad del siglo XVIII; pero sólo en años relativamente recientes se han hecho estudios acerca de la fisiología, reproducción y anatomía de las diatomeas.

La base de la clasificación de las diatomeas es la forma u estructura del exoesqueleto de sílice, excepto en el género Chaetoceras, en el que el número y distribución de los cloroplastos es también importante.

Las diatomeas son unicelulares y únicas en tener la pared celular rígida, impregnada de sílice que recibe el nombre de frústula y que consiste en dos valvas, una llamada epítica, sobrepuesta sobre la otra llamada hipótica. Las valvas se unen en la región de conexión o cingulo, tanto por medio de bandas pectínicas como por la presencia de pequeños dientes que bordean internamente un cinturón. Esta caja silíceá guarda un citoplasma con vacuolas y núcleo. Los cloroplastos pueden encontrarse como una o dos estructuras lobuladas por célula, o como muchos cuerpos discoides. Su color es generalmente café amarillento en las especies planctónicas y café oscuro en las formas sésiles y en las que viven en el cieno; estos colores se deben a los efectos enmascaradores de los pigmentos xantofílicos sobre la clorofila presente. Los pigmentos que poseen son: Clorofilas a y c, carotenos, diatoxantina, diadinoxantina, ficoxantina, neoficoxantina A y B y posiblemente luteína.

Las sustancias de reserva incluyen lípidos, glóbulos de volutina y leucosina en soluciones concentradas.

Las diatomeas discoides o céntricas están ligadas a cajas circulares y son simétricamente radiales en la valva (circular o triangular), mientras que las diatomeas lineales o pennadas muestran simetría valvar apical y transapical.

El patrón de superficie de las frústulas es muy complejo; consiste de poros que permiten la entrada de nutrimentos; en algunas diatomeas lineales hay un rafé parecido a una herradura en la superficie de la valva, con nódulos central y polar, flanqueados por muescas laterales regulares. El rafé permite el contacto entre el medio y el citoplasma.

La pared silicificada e inelástica mantiene constante el tamaño celular. En la división celular, la valva epítica se separa de la hipótica y cada una forma la epítica de las células hijas, en las cuales se forma una nueva hipótica. Por lo tanto, de las dos células hijas, una es del mismo tamaño que la célula progenitora y la otra es ligeramente menor. La división celular repetida lleva entonces a una disminución gradual en el tamaño de la mitad de la progenie. La restauración del tamaño máximo de la especie, implica un proceso sexual que lleva a la formación de un tipo particular de "espora", en realidad un cigoto, - llamada Auxospora. Estas Auxosporas al ser liberadas de la pared celular crecen y forman una nueva pared silicificada, restaurando el tamaño normal de la célula. La formación de la auxospora invariablemente resulta de la fusión de gametos (3).

En todas las especies estudiadas en cultivo, la fotosíntesis, se

incrementa con una intensidad de luz de menos de unos 10 kilolux (un lux equivale a la intensidad de luz de una superficie de 1m^2 sobre la que incide un flujo luminoso de un lumen); mayores intensidades reducen la velocidad de fotosíntesis. Sin embargo, existen diatomeas cuya máxima actividad fotosintética se da a menores intensidades de luz.

Los primeros productos de la fotosíntesis de estas algas se cree que sean lábiles, pero van seguidos por ácidos grasos, proteínas y polisacáridos. La leucosina es común en las diatomeas y está estrechamente relacionada con la laminarina; esta es una razón por lo que se les ha considerado como filogenéticamente cercanas a las algas pardas. Sus polisacáridos extracelulares - pueden ser poliurónidos (ácido glucurónico) o pueden producir xilosa y manosa sin glucosamina.

Aunque a las diatomeas se les ha conocido desde hace mucho como "los pastos del mar" debido al hecho de que eran los microorganismos más frecuentes que se pescaban en las redes usadas para recolectar fitoplancton, ahora sabemos que los flagelados y en especial los dinoflagelados rivalizan con ellas en importancia, y en algunas aguas, son estos últimos de mucha mayor significancia, tanto en número como en masa.

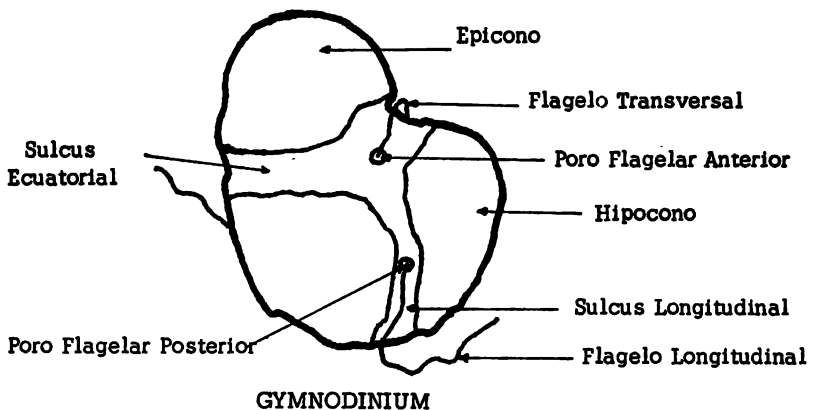
3.3.2.3 Pyrrophycophyta.

Son en su mayor parte flageladas y unicelulares. Las formas inmóviles unicelulares, coloniales o filamentosas, producen zoosporas semejantes a las células vegetativas en los géneros móviles; son eucariotes, pero con cromo-

soma deshusado, tal vez del tipo primitivo que carece de histonas; permanece condensado en la interfase, con un aspecto característico de collar de cuentas. Los cloroplastos cuando están presentes, son en su mayor parte de color café - dorado, que va hasta verde amarillento algunas veces, con una alta proporción de carotenoides respecto a la clorofila; contiene clorofilas a y c, beta-carotenos y varias xantofilas características, incluyendo peridivina que es la xantofila principal, casi exclusiva en esta división, diadinoxantina y dinoxantina.

Las células móviles tienen dos flagelos más o menos disímiles. La pared celular por lo común es de celulosa y formada por dos valvas, o bien dividida en placas entrelazadas; su reserva alimenticia es en su mayor parte almidón y aceites. La reproducción es generalmente asexual, raras veces sexual e isogámica.

El género más conocido de esta división son los dinoflagelados que tienen dos flagelos insertados en un surco transverso o espiral llamado Cíngulo, con un flagelo propulsor y el otro colocado en el surco el cual circunda más o menos toda la célula.



Este grupo incluye autótrofos fotosintéticos, saprofitos y parásitos externos e internos de peces y otros animales. Todos los órdenes de los dinoflagelados se encuentran en el mar, especialmente en las regiones tropicales. A menudo son tan numerosos que colorean el agua del mar de amarillo brillante a rojo. Algunas especies como Noctiluca y Gymnodinium son luminosas en la oscuridad.

Los dinoflagelados son una de las fuentes últimas de alimento más importantes. Las mareas rojas esporádicas de las costas de Florida y Golfo de México son causadas por Gymnodinium brevis y otros dinoflagelados de este u otros géneros, mientras que Gonyaulax polyhidra es la especie que ocasiona las mareas rojas en California. Estas mareas rojas originan la muerte de un gran número de peces y otros animales marinos; la causa de esta mortalidad es que estos dos géneros de dinoflagelados sintetizan toxinas cuya química no se conoce completamente, aunque se ha obtenido en forma pura mediante la maceración y fraccionamiento de mejillones que acumulan dichas toxinas en el hígado. En el hombre, afectan principalmente los centros respiratorios y vasomotores del SNC, así como las terminales táctiles cutáneas y juntas neuromusculares en el sistema periférico, produciendo parálisis.

3.3.2.4 Cryptophycophyta

Los organismos de esta división a menudo reciben el nombre de criptomónidos. Son flagelados y unicelulares; sus flagelos son desiguales. Sus células son asimétricas y algo comprimidas. Unos cuantos géneros tienen pared

celulósica y uno de ellos presenta una toxina.

La membrana celular exterior es periplástica, con estrias longitudinales. El color de sus cloroplastos es variable y va desde el verde hasta el café. Tienen clorofilas a y c; poseen más alfa que beta-carotenos y contienen un grupo único de xantofilas llamadas aloxantinas; también poseen monadoxantina y crocaxantina. Además poseen ficobilinas en forma regular como un pigmento foto sintético accesorio. Estas ficobilinas incluyen tanto ficocianina como ficoeritrina, siendo ligeramente diferentes de las de las algas rojas y las verde azules.

Las Cryptophycophyta almacenan almidón como reserva alimenticia. Pueden ser fotótrofas, heterótrofas o fagótrofas.

3.3.2.5 Chrysophycophyta

Se dividen en dos clases: Chrysophyceae y Haptophyceae.

La clase Chrysophyceae comprende algas unicelulares, coloniales o filamentosas; sus paredes celulares, cuando están presentes, rara vez contienen cantidades apreciables de celulosa; con frecuencia están silicificadas y muy a menudo formadas por dos mitades superpuestas. Algunos autores incluyen los silicoflagelados en este grupo. Son principalmente biflageladas, con flagelos inser tados apicalmente.

Los cloroplastos son, en su mayor parte, de color verde amarillen to a café dorado, con una alta proporción de carotenoides; por lo común contienen diatoxantina, con frecuencia ficoxantina y algunas veces diadinoxantina como xantofilas importantes, pero rara vez tienen cantidades apreciables de peridirina;



- 79 -

tienen clorofilas a y c y aveces e; sus reservas alimenticias son por lo general leucosina, crisolaminarina (un poliglucano con ligaduras beta 1-3, afín a la laminarina) y aceites; producen con frecuencia estatosporas que son estructuras exclusivas de esta división.

También pueden ser heterótrofas y fagótrofas, según se presente la oportunidad. Contienen una o dos vacuolas contráctiles, tienen una fase sexual isógama y se pueden dividir por fisión o gemación.

Están ampliamente distribuidas en el océano, pero no parecen tener gran importancia excepto en ciertas áreas cercanas a la costa.

Los organismos de la segunda clase, Haptophyceae excepto los cocolitóforos contienen los mismos pigmentos que los de la clase Chrysophyceae y las mismas características generales de flagelación y productos de almacenamiento, así como la misma nutrición.

Los cocolitóforos son, numéricamente, un grupo muy importante en muchas aguas tropicales del Atlántico y el Indico; son también importantes como el alimento de un cierto número de invertebrados marinos, ya que su número decae considerablemente en la noche debido quizá al "pastoreo", por ellos es importante conocer tanto sus ciclos vitales como su nutrición y la relativa importancia que para ellos tiene la fototrofia, heterotrofia o fagotrofia. El hecho de que hayan sido registrados en profundidades de hasta 5,000 metros, sugiere que un medio afótico de nutrición debe ser muy importante en este grupo oceánico y esto es importante a su vez en las ecuaciones de producción.

3.3.2.6 Rhodophycophyta

Reciben también el nombre de algas rojas; son formas marinas, - que crecen en mares y océanos cálidos, pero algunas de ellas crecen en aguas frías y también en agua dulce. La mayoría de las algas rojas crecen en la zona subtidal (sumergida) y sólo unas pocas son capaces de sobrevivir la desecación.

Esta división contiene más de 3,000 especies que se caracterizan por poseer un pigmento rojo, la ficoeritrina y algunas veces, también ficocianina. Contienen además clorofilas a y d, beta-carotenos, zeaxantina y a veces alfa-carotenos. Son inmóviles y pluricelulares, aunque rara vez llegan a medir más de un metro de longitud. Su proceso reproductivo está altamente especializado. La reproducción asexual es llevada a cabo por esporas inmóviles. Sin embargo, sexualmente se reproducen con heterogametos mediante la unión de células germinales, hembra y macho, bien diferenciadas e inmóviles, las cuales se producen en la carpogonia (órganos sexuales femeninos) y en la espermattia. El cigoto o huevo eventualmente origina las carposporas, las cuales en muchas especies se desenrollan formando un nuevo estado adicional antes de producir organismos sexuales que completan el ciclo vital.

Estas algas almacenan los nutrimentos en forma de un compuesto insoluble, parecido al almidón, llamado "almidón de los florídeos" y en forma de aceites. Algunas algas rojas tienen importancia económica, particularmente Geli-dium pues a partir de ella se obtiene el agar.

Por otro lado, muchas de ellas tienden a acumular calcio, siendo

por consiguiente calcáreas. Estas, junto con los microorganismos coralíferos marinos, desempeñan un papel muy importante en la formación de arrecifes e islas de coral.

3.3.2.7 Xantophycophyta

Estas células verde amarillas pueden representar un punto intermedio entre las Chrysophycophytas y las Chlorophycophytas. Este es un grupo de microorganismos mezclados e incluye algunas esporas de algas móviles. Las células son marcadamente dorsoventrales con dos flagelos de diferente longitud, aunque existen algunos miembros uniflagelados o inmóviles. Su pared celular a menudo incorpora sílice.

Los géneros de esta división pueden ser unicelulares, coloniales, filamentosos o tubulares. Su único pigmento fotosintético es la clorofila a y sus productos de almacenamiento son aceites y crisolaminarina.

Se encuentran en el medio marino, pero su importancia relativa hacia otros grupos es desconocida. Rara vez se les encuentra en el fitoplancton y se cree que sólo son importantes en situaciones costeras locales.

3.3.2.8 Phaeophycophytas

Esta división incluye miles de especies marinas y se distinguen de otras algas por tener un color pardo característico de donde viene su nombre común de algas pardas, el cual es debido a un pigmento llamado ficoxantina. Po

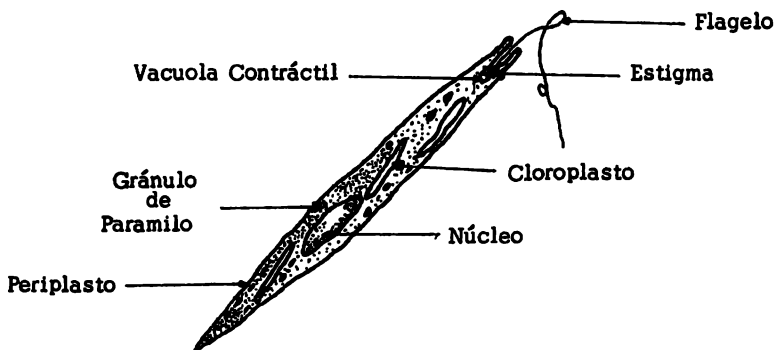
seen además clorofilas a y c, y alfa y beta carotenos.

Su cuerpo es siempre pluricelular e inmóvil y su tamaño va desde el simple talo formado de unas pocas células, hasta una estructura compleja de las llamadas algas gigantes de más de 30 metros de longitud. Crecen principalmente en aguas frías. Las reservas alimenticias de las células están en forma de aceites o grasas, laminarina y carbohidratos complejos pero solubles.

Su reproducción puede ser por fragmentación asexual, zoosporas o esporas inmóviles y sexual por unión de gametos, semejantes o diferentes.

3.3.2.9 Euglenophycophyta

Estos organismos unicelulares son móviles por medio de flagelos, generalmente dos por célula, que surgen de una invaginación anterior, generalmente con el flagelo largo y el corto fundido con él en la región de la invaginación celular.



EUGLENA

De un interés particular es el género Euglena el cual es representante de un grupo designado como animal por los zoólogos y como vegetal por los botánicos. Hoy en día, Euglena es considerada como un organismo que desciende de ancestros parecidos a animales y que se ha desarrollado en la dirección de los vegetales fotosintéticos autosuficientes.

En general son microorganismos de agua dulce aunque se les puede encontrar en los estuarios; la célula no es rígida, es flexible. No posee pared celular con celulosa; su membrana exterior es un periplasto organizado. Posee una boca anterior, aunque no ingiere alimento a través de ella. Algunas especies desarrollan un prominente estigma o mancha ocular roja. La célula también tiene vacuolas contráctiles y fibrillas; todos estos son atributos animales. Por otro lado son capaces de realizar fotosíntesis en los cloroplastos que poseen los cuales son numerosos y de varias formas. Contienen clorofila a y b; almacenan un carbohidrato complejo llamado paramilo que se encuentra en la célula en forma de numerosos cuerpos discretos; estos son atributos vegetales. Su reproducción es por fisión binaria longitudinal.

3.3.2.10 Chlorophycophyta

Los miembros de esta clase se encuentran comúnmente en aguas dulces, pero como grupo están bien representados en el mar. Reciben el nombre de algas verdes; son células flageladas que se presentan solas o en colonias, con 2 o 4 flagelos por célula, de igual longitud, desnudos y que surgen de ella apicalmente. Tienen un núcleo bien definido y cloroplastos de diversas formas y

tamaños, dependiendo de la especie, pero generalmente hay uno por célula y - tienen forma de copa. Las paredes celulares son de celulosa con una superficie externa pectinada, pero también se conocen representantes periplásticos. Los cloroplastos a menudo contienen centros de formación de almidón llamados pirenoides.

Se reproducen en forma asexual por medio de zoosporas, fisión y otros métodos, y en forma sexual por unión de isogametos y heterogametos.

3.4 PROTOZOARIOS

Las características más sobresalientes de los miembros de este phylum es que son todos organismos unicelulares con un amplio grado de complejidad y especialización, tanto en forma como en funciones.

Este phylum se encuentra dividido en Rizópodos o Sarcodina, Ciliata o Infusoria, Flagellata y Sporozoa. El último orden no tiene representantes marinos por lo que sólo trataremos a los tres primeros.

3.4.1 Sarcodina o Rizópodos

Estos organismos están caracterizados por la presencia de pseudópodos o falsos pies, como elementos locomotores y para la prensión del alimento. En atención a que los pseudópodos posean o no un esqueleto interno rígido, se dividen en dos órdenes: Foraminíferos y Radiolarios.

3.4.1.1 Foraminífera

Su importancia se debe en gran parte a su abundancia en los fósiles, pero hoy en día rara vez son abundantes en el plancton; en el muestreo rutinario de estos organismos, de una muestra de 30 litros no se obtienen suficientes individuos para realizar un estudio, ni cualitativo ni cuantitativo. Sin embargo además de hallarse en el plancton, se les encuentra como organismos epónticos unidos a algas como Eclonia.

Sus pseudópodos carecen de ejes esqueléticos y son delgados y reticulados estando frecuentemente anastomosados. Existe un esqueleto calcáreo perforado - en cuyo interior está el núcleo celular - , que puede contener una o más cámaras (monotálamos o politálamos). Este caparazón puede estar compuesto de tectina (granos de arena embutidos en una matriz orgánica) o de calcita cristalina.

Los organismos poseen un plexo pseudopodial de finas extensiones protoplásmicas que se mueven y que están llenas de gránulos que parecen ondear en direcciones opuestas todo el tiempo.

Estos organismos se alimentan de bacterias, protozoarios y algas, incluyendo diatomeas, y digieren su comida en vacuolas alimenticias.

Algunos son específicos en su alimentación, pues están restringidos a una sola especie, por ejemplo Nitzschia, y son repelidos por otras especies del mismo género. Muchas especies forman parte de zooxantelae (simbiosis entre dinoflagelados y animales).

Se encuentran en aguas poco y muy profundas, en comunidades - bénticas, epónticas y planctónicas. Algunas especies están confinadas a aguas de ambos polos y otras a aguas calientes tropicales.

3.4.1.2 Radiolaria

Estos organismos ameboides forman inmensas capas de fósiles de las pasadas eras, pero aún se encuentran en los medios salinos, aunque no en sus primeras concentraciones. Poseen una cápsula que separa dos regiones proto plásmicas; la interior, con el núcleo y la exterior con hilos contráctiles que dan salida a los pseudópodos. Estos tienen un esqueleto axil de caracter silíceo, que parte de la cápsula central que tiene la misma composición.

Los radiolarios forman parte de zooxantelae y se ha establecido que son capaces de vivir sin partículas alimenticias en presencia de luz; aquellos que viven debajo de la zona fótica son fagotróficos, aunque muchos de ellos contienen clorofila, relacionada con la zooxantelae.

Los radiolarios se reproducen asexualmente, por bipartición, sólo en muy contados casos, siendo lo normal la esporulación, que tiene lugar en el interior de la cápsula silícea que envuelve al individuo. Las esporas están dotadas de uno o dos flagelos.

Entre los principales radiolarios que se encuentran en el medio marino están: Thalassicolla y Arachnoris.

3.4.1.3 Heliozoa

Los miembros de este grupo de protozoarios tienen características ameboides con un ectoplasma hialino y un endoplasma granular; presentan vacuolas contráctiles y pulsátiles y uno o más núcleos. Tienen además, pseudópodos típicamente reforzados por varas axiales o en forma de hilo reticulado. No tienen esqueleto firmemente unido y pueden ser desnudos o tener una cubierta protectora de espinas o placas silicificadas o ambas. Son pocos los representantes marinos de este género.

3.4.2 Ciliata

Este grupo de organismos contiene un gran número de géneros que se encuentran en el medio ambiente marino. El grupo planctónico más importante son los Tintínidos.

Estos organismos se mueven por la acción de cilios o pestañas vibrátiles.

3.4.2.1 Tintinnina

Se caracterizan por la presencia de una especie de esqueleto o lorica, de forma frecuentemente campanular o tubiforme que consiste de un material orgánico claro que puede estar impregnado con partículas, como granos de

arena. El organismo está unido a la lorigo sólo en la base y se expande y contrae dentro de esta. En el extremo ancho del cuerpo hay una serie de membranelas que rodean un peristoneo. Bajo las membranelas existe una membrana ciliada y los cilios del cuerpo se extienden hacia abajo en el exterior del organismo. Algunas especies forman parte de zooxantelae. La célula contiene macro y micronúcleos. Su reproducción es por división directa libre o dentro de quistes, división que puede suceder a un fenómeno de conjugación, típico de este grupo animal.

Se alimentan de fitoplancton y bacterias; sin embargo, no se ha determinado si usan materia orgánica particulada pero muerta o si pueden usar materia orgánica disuelta.

3.4.2.2 Otros Ciliados

Ciliados diferentes a los tintífnidos son muy numerosos en los estuarios, donde se encuentran en el plancton, epífiton y en los sedimentos, aún en caso de anaerobiosis.

Se ha observado que los ciliados pueden ingerir bacterias; no se conoce el rango de pH en el que pueden vivir pero parecen no tener dificultades para habitar por todo el ambiente marino.

3.4.3 Flagellata

Los flagelados se caracterizan, como en el caso de las algas del mismo nombre, con las que tienen marcadísimos puntos de semejanza y parentes-

co, por la presencia de flagelos como órganos de locomoción. Los zooflagelados se reproducen, en general, sexual y asexualmente. Asexualmente por bipartición o esporulación. Sexualmente por una conjugación que precede siempre a una esporulación. Hay, por lo tanto, un cierto grado de generación alternante.

Estos organismos están representados, por ejemplo, por Noctiluca y Leptodiscus, típicos por la producción de fosforescencia o luminiscencia a que dan lugar en las aguas marinas.

3.5 VIRUS

Se ha realizado muy poco trabajo sobre los virus presentes en el mar y no hay indicios de que desempeñen un papel importante en la ecología de los océanos. Al mismo tiempo, el trabajo hecho hasta ahora es insuficiente para proveer una diferencia tan radical entre el medio terrestre y el marino. El poco interés que hay en los virus marinos se debe en cierta forma a los resultados negativos preliminares.

Ahora bien, la presencia de bacteriófagos activos contra bacterias marinas en agua de mar, lejos de la zona litoral, no se ha demostrado concluyentemente a pesar de su posible importancia en la microbiología marina. Aunque ZoBell aisló fagos de aguas del mar de la zona litoral, fue incapaz de hacerlo de agua tomada de zonas más alejadas. Los fagos aislados por Kriss y Rukina en el mar Negro eran activos sólo contra especies típicamente terrestres como son Bacillus subtilis y Micrococcus albus y pueden haber sido adventicios. Sin embargo, R. Spencer aisló un fago activo contra Photobacterium phosphoreum, tres con-

tra una especie no identificada y no pigmentada de Pseudomonas y dos contra una especie no identificada de Flavobacterium, a partir de agua de mar tomada a unos 17 kilómetros de Aberdeen, Escocia, en el mar del Norte (41).

Por otro lado, virus animales, predominantemente enterovirus, fueron detectados por De Flora y colaboradores (10) en aguas superficiales, a bajas profundidades y en sedimentos marinos. Los virus se acumulan en los depósitos arenosos y limosos del fondo marino, cerca de las playas y pueden ser fácilmente liberados hacia el agua con una simple agitación mecánica.

Uno de los principales problemas para detectar y cuantificar los virus en el mar es la considerable dilución de las partículas infecciosas. Este problema se ha resuelto con la introducción del método de los polielectrolitos, procedimiento que resulta muy efectivo para concentrar pequeñas cantidades de virus a partir de grandes volúmenes de agua (10).

CAPITULO IV
DISTRIBUCION DE LOS MICROORGANISMOS EN EL
OCEANO

4.1 INTRODUCCION

Aunque las bacterias y los hongos se encuentran en casi todas las aguas, su distribución cualitativa y cuantitativa difiere en un alto grado y probablemente no hay dos ríos, lagos o regiones del mar en que sean iguales. Los microorganismos forman parte de comunidades biológicas particulares cuya composición y tamaño dependen a su vez, de una gran variedad de condiciones físicas y químicas.

Las bacterias y hongos C-heterotróficos pueden desarrollarse sólo en el grado en que las sustancias orgánicas, sintetizadas por otras criaturas vivientes estén disponibles como nutrientes; compiten por ellas, entre ellas y con otros organismos como las algas no pigmentadas, los protozoarios y los metazoarios y a su vez, desempeñan un importante papel como alimento, particularmente para protozoarios y para los llamados organismos "filtradores" como el mejillón, abulón, ostión, almeja, etc.

Si bien el factor nutricional es de suma importancia, existen otros factores asociados con el medio ambiente biológico que ejercen una considerable influencia sobre este, por ejemplo, la producción de sustancias que favorecen o inhiben el crecimiento, los cambios de pH y de la tensión de oxígeno. También influyen en la distribución de los microorganismos en el mar el efecto directo de los factores físicos y químicos: luz, temperatura, presión, reacciones químicas en el agua y en los sedimentos, etc. De esta manera la distribución de los microorganismos en un cuerpo de agua es siempre el resultado de la interacción de to-

dos los factores bióticos y abióticos y, como estos, está constantemente sujeta a cambios.

Nuestro conocimiento sobre la distribución de las bacterias y los hongos en el mar está aún muy incompleto y sabemos mucho menos sobre esto que sobre la distribución de plantas y animales. Las razones de ello dependen de los métodos usados; la detección y determinación de bacterias en particular, es muy difícil y costosa y, en lo que se refiere al examen del agua, este es posible sólo en pequeña escala. Por lo tanto, normalmente sólo se determinan los números totales de bacterias y ocasionalmente, también el número de organismos que pertenecen a los diferentes grupos fisiológicos (por ejemplo, las bacterias putrificantes, los organismos que descomponen la celulosa, las nitrificantes, las bacterias del azufre y otras).

El número total de bacterias se determina ya sea directamente, contando las células bajo el microscopio o indirectamente por medio de métodos de cultivo ya sea en placas o por el método del Número Más Probable (NMP).

Por otro lado es de gran interés la determinación de la biomasa bacteriana. El volumen celular de una bacteria acuática individual es de 0.1 a varias μm^3 , pero en el mar predominan células menores; ZoBell asumió un volumen promedio de $0.2 \mu\text{m}^3$; el peso húmedo sería de 2×10^{-10} mg y un peso seco de 4×10^{-11} mg; esto nos permite calcular la biomasa de cualquier densidad de población en particular.

Aún más problemática que el recuento de bacterias, es la determinación del número de hongos. Goertner contó en 1963, por medio del método del NMP, el número de las llamadas unidades infecciosas, ya que la separación de las zoosporas y los hongos propiamente dichos fué imposible. Las levaduras pueden contarse directamente, y también en forma indirecta por medio de placas o del método del NMP. El

número de esporas de los hongos superiores es también fácil de determinar. Es más difícil encontrar el número de micelios en sus respectivos substratos.

Son muy pocos los trabajos que se han hecho sobre la distribución de los hongos en el mar, de manera que sabemos menos de ellos que de las bacterias. Además, esto se debe a que con excepción de las levaduras, casi todos los hongos crecen dentro o sobre substratos sólidos y sólo sus esporas y pedazos rotos de micelio se encuentran en el agua libre.

4.2 DISTRIBUCION EN EL AGUA MARINA

Debido a la carencia de nutrimentos en grandes partes del mar abierto, las bacterias que ahí crecen, con frecuencia están atrofiadas, lo que hace que la determinación del número total de microorganismos por cuenta directa sea muy difícil. Por esta razón, el número de saprófitos a menudo da una mejor idea general de la distribución de las bacterias en el medio ambiente marino. Como el alimento es más abundante en las aguas costeras, el número de bacterias en estas es generalmente mayor que en el mar abierto, y el número de saprófitos generalmente disminuye con el incremento de la distancia a la costa.

Además de las bahías y esteros muy contaminados, las mayores cifras generalmente se encuentran en las zonas de rompimiento, donde una gran cantidad de materia orgánica se acumula. En los mares del Norte y Báltico, esta zona a menudo produce saprófitos en cantidades de entre diez mil y varios cientos de miles por ml; en el área adyacente hay entre un millar y varias decenas de millares, y a una distancia mayor de la costa (varias millas náuticas) hay desde me-

nos de un ciento hasta varios miles. En los océanos el número de saprófitos es aún menor; cae entre uno y cien bacterias por ml de agua; sin embargo, al determinar directamente el número total de microbios en este hábitat se encontraron de 1,000 a 280,000 por ml.

En lo que respecta a la distribución vertical, las mayores cantidades casi siempre se encuentran en la productiva zona iluminada; sin embargo, el máximo no se encuentra en la zona superior - si no hacemos caso del neuston - sino a una profundidad de 10 a 15 metros. ZoBell estableció que a menudo esto es un poco por debajo del máximo del fitoplancton (fig. 4.2.1).

Por debajo de los 200 metros sólo se encuentran cifras muy pequeñas, y a más de 1,000 metros de profundidad, el número de saprófitos no vuelve a variar, pero no es raro que este número aumente otra vez, inmediatamente por arriba del fondo. Sorokin en 1964 determinó en forma paralela el número de saprófitos y el número total de microorganismos en el Pacífico tropical, y encontró una buena correlación en el perfil vertical, aunque la proporción de saprófitos era muy baja: 1:1,000.

En las regiones marinas con marcadas diferencias en densidad, las mayores cantidades de bacterias, generalmente se encuentran en las zonas de la termoclina y en la del cambio repentino de salinidad (fig. 4.2.2). Debido a que tales zonas están entre volúmenes de agua de diferentes densidades y por ello - impiden la sedimentación de las bacterias y de los desechos, estos se acumulan ahí, lo cual a su vez, favorece las condiciones nutricionales, no sólo por la acumulación de bacterias, sino también para que puedan multiplicarse más vigorosamente.

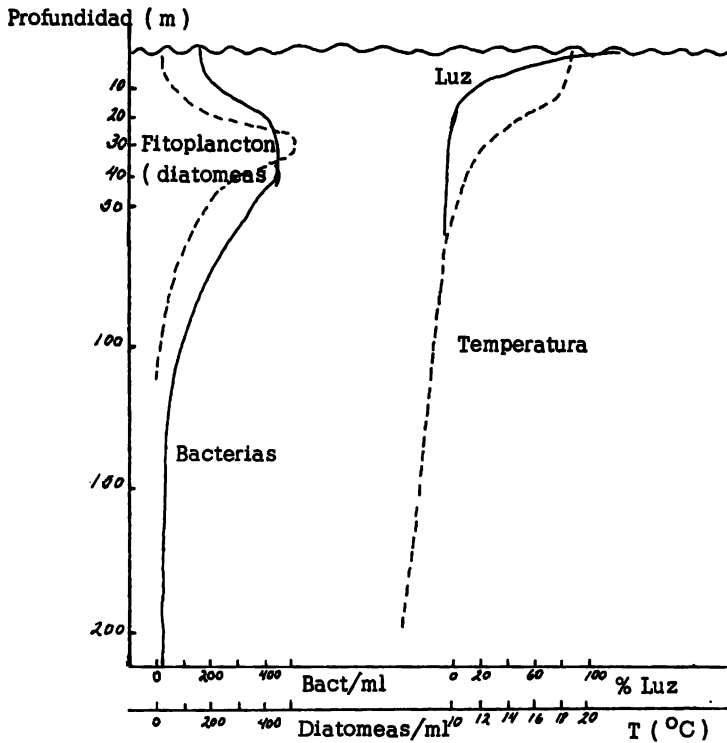


FIGURA 4.2.1 Distribución vertical de bacterias (número de saprófitos), fitoplancton (diatomeas/litro), luz y temperatura en el Pacífico, lejos de la costa de California del Sur (valores promedio).

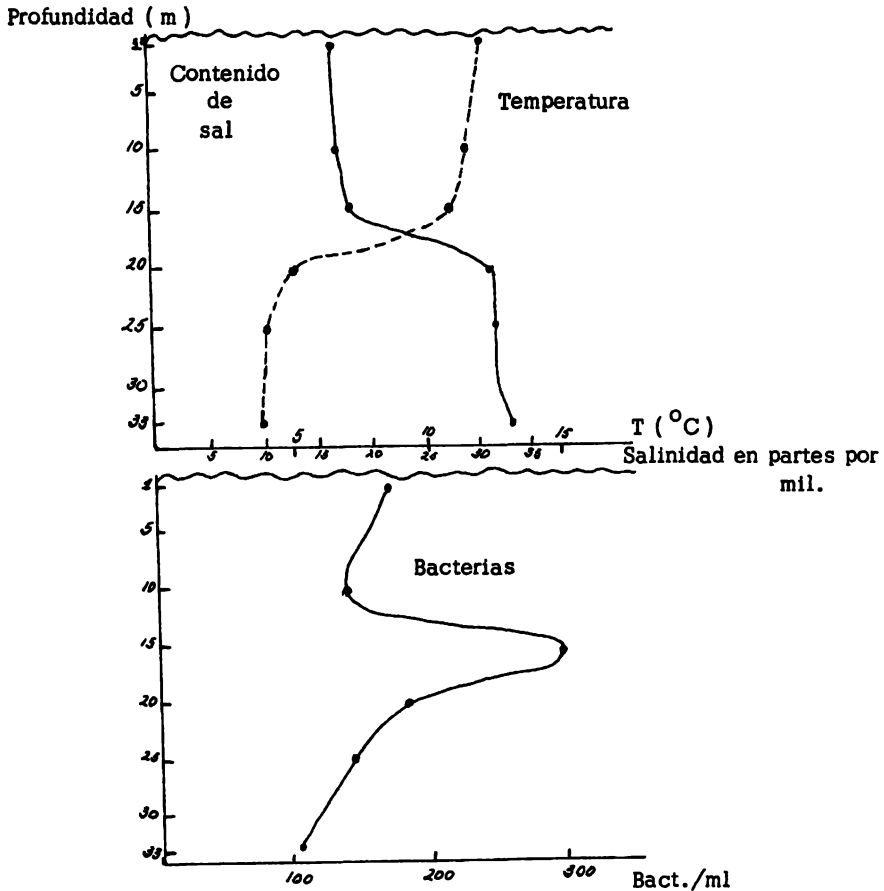


FIGURA 4.2.2 Salinidad, temperatura y contenido bacteriano (número de saprófi-
tos) el 7 de junio de 1966 en Kattegat del Sur (localización ...
56°24' N, 11°22' E). La salinidad y la temperatura muestran una
capa de marcada discontinuidad entre 15 y 20 m de prof. Esta área
contiene el número máximo de bacterias.

En las aguas costeras poco profundas, la estratificación es a menudo destruida por los fuertes vientos y la gran turbulencia provoca una distribución vertical relativamente uniforme de las bacterias. Cuando el clima se calma, la estratificación original se restablece gradualmente. Algunas veces, los ventarrones pueden revolver los sedimentos y provocar una elevación, temporal pero considerable, del contenido bacteriano del agua. La marea a menudo afecta la distribución de las bacterias en gran escala. Exámenes de la desembocadura del Elba demostraron que con fuertes corrientes de marea la distribución de las bacterias, plancton y desechos es relativamente uniforme desde la superficie hasta el fondo. Cuando la corriente disminuye, particularmente con la bajamar, las cifras decrecen en la superficie del agua debido a la sedimentación, y se incrementan marcadamente en las partes profundas; pero a medida que la corriente se incrementa otra vez, las bacterias se revuelven y la turbulencia empareja las cifras de bacterias en toda la columna de agua (Fig. 4.2.3) (37).

En las bahías y fiordos el contenido bacteriano del agua también está muy influido por las corrientes provocadas por el viento. Esto se presenta particularmente en los mares cercados por tierra, en los que el papel de las mareas es insignificante. Investigaciones en los fiordos de Kiel y Flensburg (37) demostraron que el contenido bacteriano del agua puede cambiar en un corto tiempo y en un factor de 10 o aún de 100, dependiendo de las condiciones meteorológicas. En clima calmado, el número de saprófitos se eleva rápidamente, particularmente en las partes interiores de los fiordos, debido al incremento de la contaminación; pero en días de tormenta, el agua del Báltico, que es pobre en microorganismos, entra y el número de saprófitos se reduce considerablemente (Fig.4.2.4)

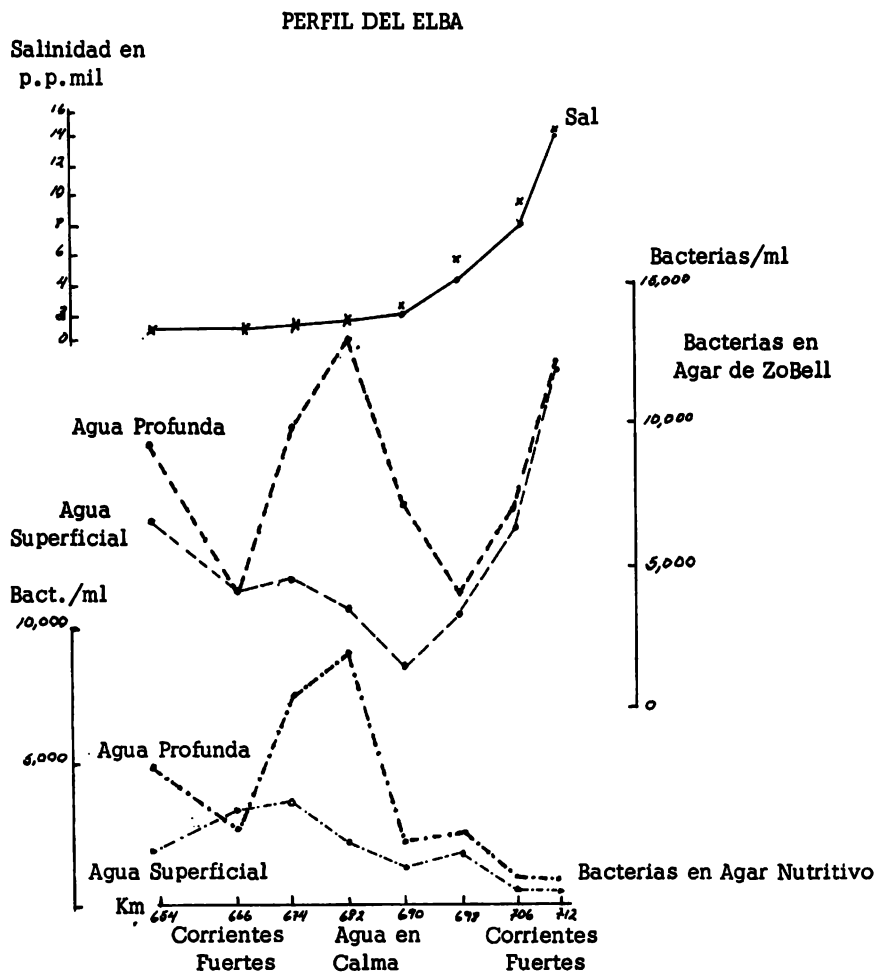


FIGURA 4.2.3 Número de saprófitos en dos medios diferentes y salinidad en el agua de la superficie y de las partes más profundas del estuario del Elba. Mientras que en una corriente turbulenta la distribución vertical de las bacterias casi no muestra diferencias, en aguas tranquilas el contenido bacteriano de las partes más profundas se incrementa marcadamente.

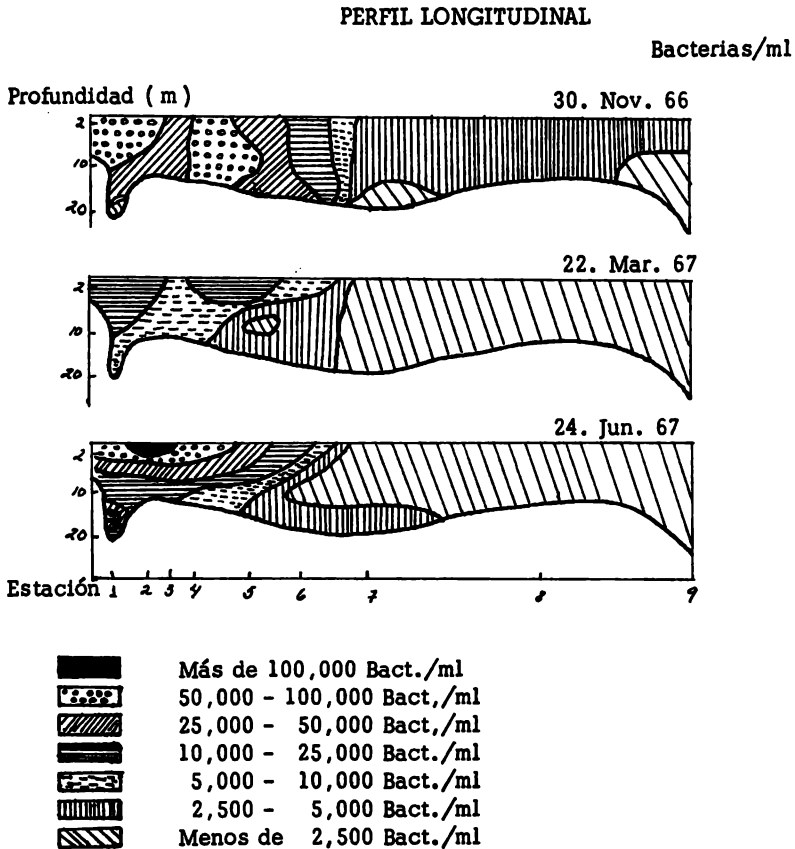


FIGURA 4.2.4 Distribución bacteriana (número de saprófitos) en el Fiordo de Kiel en diferentes épocas del año. Las grandes diferencias se deben al activo intercambio de agua con el mar Báltico.

En las zonas de clima templado se presentan variaciones estacionales en la cantidad de bacterias. Así, el número de saprófitos en el Báltico occidental tiene dos máximos, uno en primavera (abril-mayo) y el otro en otoño (octubre-noviembre). O sea que las mayores cantidades de saprófitos se presentan sólo después del máximo de producción del fitoplancton, cuando gran parte de este está muriendo (Fig. 4.2.5). El mínimo de saprófitos siempre se encontró en pleno verano.

En ensenadas y bahías muy contaminadas, con poco intercambio de agua se observa, un inequívoco máximo invernal.

Un estudio de los perfiles longitudinal y transversal, ocasionalmente da por resultado cifras sorprendentemente altas de saprófitos en algunas muestras, independientemente de la época del año. Esto, como regla, se debe probablemente a una fuente local de alimento, por ejemplo plantas y animales muertos. En aquellas partes del océano muy pobres en nutrientes una fuente repentina de alimento como esta es, probablemente, la única oportunidad para multiplicarse de muchas bacterias.

Por otro lado, la distribución de los ficomicetos en el mar del Norte y en el noroeste del Atlántico fue estudiada por Goertner (37). Encontró más de 2,000 hongos por litro de agua; las mayores cifras se encontraron cerca de tierra; en el mar abierto, las cantidades fueron más bien bajas, de 1 a 12.

Se han encontrado grandes variaciones estacionales en el número de ficomicetos. Así, en abril eran numerosos los Chrytidinae, que ya iban desapareciendo al acercarse los finales de mayo y estaban completamente ausentes en octubre. Por otro lado Thraustochytriae, parecen estar presentes todo el año (cos

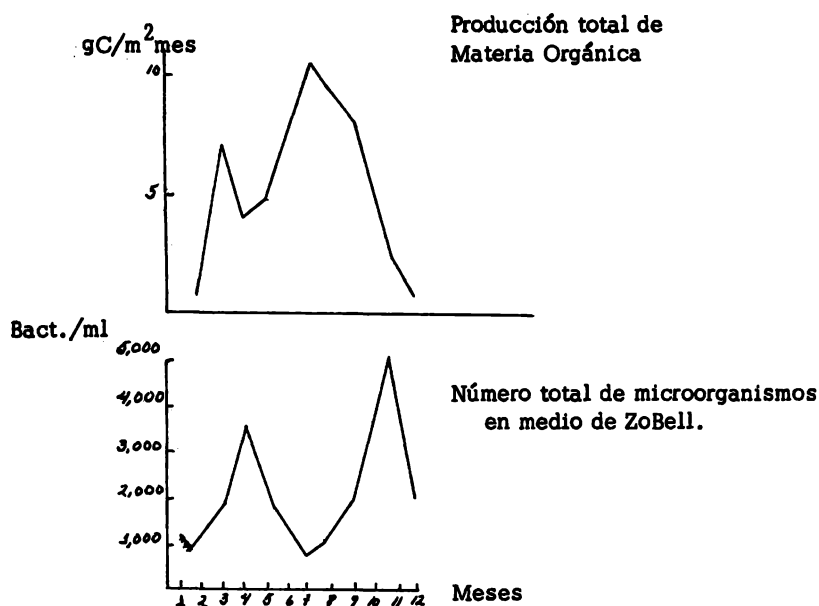


FIGURA 4.2.5 Producción total de materia orgánica (arriba) y número de saprófitos (abajo) en el mar Báltico.

ta sudoeste de Francia).

También se ha estudiado la distribución de las levaduras en diferentes regiones del mar. Su número es relativamente alto en áreas costeras cargadas de aguas fecales y decrece rápidamente mar adentro. No obstante, algunas levaduras halotolerantes se han encontrado en el mar abierto. Fell encontró levaduras vivas en el océano Indico desde la superficie hasta una profundidad de 2,000 metros. De 179 muestras examinadas, 65 fueron positivas, conteniendo entre 1 y 513 levaduras por litro de agua. La frecuencia relativa de las diferentes especies fue la siguiente:

<u>Candida atmosphaerica</u>	21%	<u>Cándida polymorpha</u>	10%
<u>Rhodotórula rubra</u>	20%	<u>Rhodotórula glutinis</u>	6%
<u>Candida sp</u>	12%	<u>Sporobolomyces odor</u>	12%
Otras clases	19%		

En aguas costeras encontraron hasta varios cientos de levaduras por litro de agua. En aguas sumamente contaminadas podrían ser considerablemente más abundantes.

En lo que se refiere a la distribución del fitoplancton (algas), este en general muestra variaciones estacionales que a menudo se observan por cambios de color.

Los diferentes patrones anuales de abundancia de fitoplancton que dependen de la latitud se pueden ver en el mar (fig. 4.2.6). Los incrementos de la población de fitoplancton en primavera son aspectos característicos de los mares templados del norte y de muchos lados. Este fenómeno se describe como "explosión primaveral" o como "floreCIMIENTO primaveral". (ver figura).

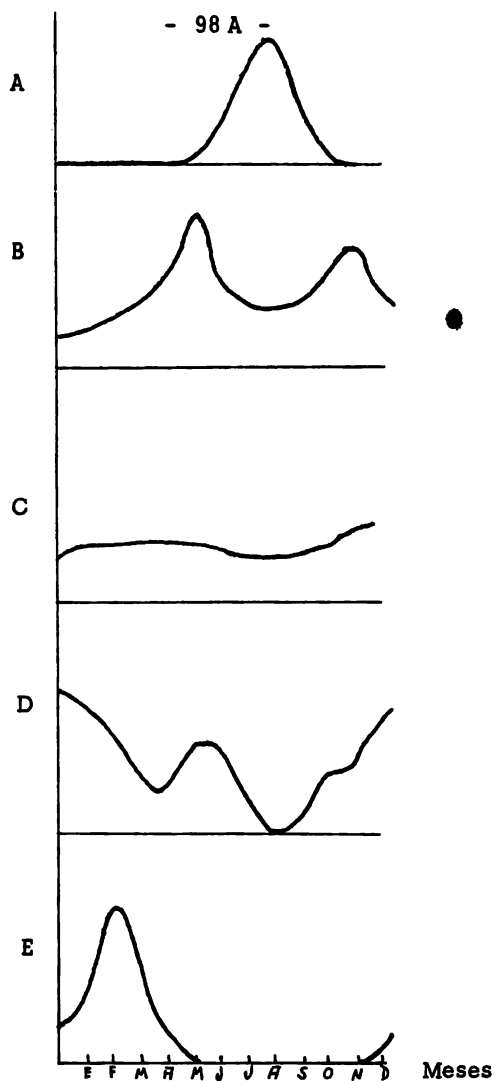


FIGURA 4.2.6 Amplitudes estacionales de la producción de fitoplancton. A) Mares Árticos, B) Mares templados del norte, C) Mares tropicales, D) Mares antárticos - región norte, E) Mares antárticos - región sur.

Primavera.

La insuficiencia de la luz solar en el invierno y la duración de los días en las grandes y medianas latitudes son los principales factores que restringen el crecimiento de las algas ya que los niveles de nutrimentos son altos durante el invierno y hay muy poco cambio en la temperatura del agua en la época en que comienza la "explosión primaveral". Es más, el crecimiento primaveral se llevará a cabo bajo el hielo si la iluminación es suficiente.

Por otro lado la multiplicación de las células sólo ocurrirá cuando la producción de materia orgánica por la fotosíntesis exceda al consumo de esta por la respiración. Si la capa superior del agua mezclada es profunda y hay una distribución uniforme de los microorganismos desde la superficie hacia abajo la producción neta de materia orgánica ocurrirá sólo por arriba de la zona o profundidad de compensación (Es la profundidad a la cual la luz es tan reducida que la fotosíntesis y la respiración se balancean y las plantas no ganan ni pierden energía; esta profundidad de compensación varía para cada especie pues unas utilizan más eficientemente la luz que otras) (54). Por debajo de esta zona habrá una pérdida neta debido al consumo respiratorio. La población total no se puede incrementar si la pérdida excede a la producción neta. Hay una profundidad crítica para las capas mezcladas en la que la producción estará detenida. Si la profundidad de la capa mezclada es menor que esta y hay una adecuada iluminación, el comienzo de la "explosión primaveral" estará asegurado. Esta Profundidad Crítica (es la profundidad a la cual la fotosíntesis total por unidad de agua superficial es igual al

total de la respiración, y se aplica a un cuerpo de agua y no a organismos o cepas individuales) (54) ha sido estimada como de 5 a 10 veces la profundidad de compensación. Hay pruebas de que un periodo de clima calmado (de 2 a 3 semanas) precede el surgimiento de la "explosión primaveral" en algunas localidades.

La importancia de la luz como el principal factor regional que influye en el crecimiento primaveral está ahora bien documentada. La restricción invernal al crecimiento de la población es en gran parte, el resultado de la estrechez de la zona iluminada relativa a la profundidad de las aguas mezcladas; las bajas temperaturas pueden ser un factor acompañante.

Una vez que empieza la explosión primaveral del fitoplancton, la velocidad natural de incremento sigue, en términos generales un curso exponencial durante varias semanas. Este es un incremento total de la población que incorpora misiones sucesivas de individuos que aumentan y decaen.

Como se muestra en la figura 4.2.4 la "explosión primaveral" es corta y pronto se establece un decremento de la población. En los mares templados esto se debe principalmente al pastoreo del zooplancton hervíboro. El máximo de producción del zooplancton se retrasa unas semanas con respecto al de las algas. Las capas mezcladas, relativamente poco profundas, confinan a las algas a una zona estrecha con una iluminación incrementada pero con los nutrimentos minerales disminuyendo constantemente. El zooplancton a menudo parece alimentarse a velocidades que rayan en el "consumo lujurioso" (o "alimentación superflua") evacuando heces que contienen diatomeas parcialmente digeridas y a veces sin digerir, que se hunden en aguas más profundas y se descomponen. Más tarde, - cuando el fitoplancton disponible está marcadamente reducido las heces que que-

dan en la zona luminosa pueden servir como alimento. Con la estratificación térmica del verano, el aislamiento de las aguas superficiales es completo, la producción total de algas permanece mínima excepto por algunas "pulsaciones" ocasionales. La estratificación térmica bloquea efectivamente en las aguas profundas los nutrientes liberados por las bacterias al descomponer la materia orgánica y las heces del zooplancton.

Margalef ha descrito la sucesión en el fitoplancton como un proceso secuencial que empieza con las diatomeas pequeñas, capaces de una gran velocidad de fotosíntesis y una división celular rápida y que requieren niveles nutritivos altos. A estas les siguen las diatomeas de crecimiento más lento que tienen un tamaño mediano, y luego las formas móviles (dinoflagelados) y otros organismos con requerimientos nutricionales más complejos.

Verano

En los mares templados del norte en los que hay estratificación térmica al comienzo del verano la región de la termoclina se vuelve un efectivo límite inferior. Este es a menudo un período con pequeños números pero gran diversidad de especies. La flora de verano es notable por su cantidad de dinoflagelados (especies de Ceratium y Peridinium) y de diatomeas (Guinardia flaccida y Rhizosolenia sp.)

Los bajos niveles de nutrientes registrados en el verano son el resultado de su rápida ingestión y reciclado en condiciones un poco competitivas. Parece ser que el factor de competencia es de cierta importancia después de la "explosión primaveral".

Otoño

En muchos lugares hay un segundo período de abundancia de fitoplancton después del verano. Esta fase del crecimiento vegetal también va acompañada por un período de "shock". En el mar se debe al descenso y rompimiento constante de la termoclina que sigue al incremento en la turbulencia en las aguas superficiales. Hay un cambio repentino de temperatura junto con un incremento en la fuente de nutrimentos. Los organismos del fitoplancton circulan ahora en las aguas profundas y en condiciones de menos luz y temperatura.

El máximo de otoño es a menudo de menor orden numéricamente hablando, que el de primavera. Mientras que el número de células en otoño puede ser menor por unidad de volumen que el de primavera, el crecimiento otoñal, medido en términos de biomasa o volumen, puede ser igual al de primavera.

La caída de la población de otoño se debe al pastoreo, al mayor mezclado de las aguas y a la reducción de la luz y de la duración de los días.

Invierno

En los mares de latitudes medias, este es un período de fitoplancton escaso y baja productividad. Las especies de Coscinodiscus y Biddulphia - (diatomeas) son comunes, junto con algunos dinoflagelados. En las aguas costeras las diatomeas bénticas de la superficie del cieno marino son llevadas a la superficie por la turbulencia.

4.3 DISTRIBUCION EN LOS SEDIMENTOS MARINOS

Los sedimentos marinos están habitados por hongos y bacterias propias del mar profundo. La mayoría de los microorganismos están adsorbidos sobre las partículas de sedimento, lo que hace bastante difícil el determinar su número. Aquí, como en el agua libre, desempeñan un papel muy importante en la remineralización de las sustancias orgánicas y probablemente también como alimento para la fauna del lecho marino.

Las cuentas totales determinadas en las capas superiores varían dependiendo de la clase de sedimento y de la profundidad del agua; las cuentas están entre unos cientos de miles y varios miles de millones por gramo de sedimento húmedo, mientras que el número de saprófitos varía desde mil hasta varios cientos de miles. Los valores más altos se encuentran en las aguas costeras poco profundas. Siguiendo hacia el mar, el número decrece rápidamente.

Los sedimentos de arena gruesa, como regla, contienen considerablemente menos bacterias que los de cieno fino. Se han encontrado cifras particularmente bajas de saprófitos en las arenas que están frecuentemente perturbadas por lo que la materia orgánica no se puede acumular en ellas.

A medida que la profundidad del agua se incrementa, el número de saprófitos y de hongos inferiores se reduce en los sedimentos, debido a que cuanto mayor sea el descenso del material orgánico hacia el fondo más tardará en descomponerse, lo que dará por resultado unas condiciones nutricionales menos favorables.

Las mayores cifras de bacterias y hongos se encuentran casi siempre en los centímetros superiores de los sedimentos, y principalmente en su superficie; unos cuantos centímetros por debajo de la superficie, el número de bacterias frecuentemente está reducido a un pequeño porcentaje (figura 4.3.1); por debajo de los 100 cm desde la superficie del sedimento, el número total y el de saprófitos difícilmente cambia en los siguientes metros. Sin embargo, donde los sedimentos están asentados desigualmente, las zonas con un bajo contenido bacteriano pueden tener junto otras zonas más pobladas, aunque esto sólo sucede dentro de los 100 cm superiores.

Goertner encontró en la zona más superficial del sedimento (0 - 10 mm) de 10,000 a 18,000 hongos inferiores por litro de sedimento en la parte sur del mar del Norte, y de 1,000 a 10,000 en la parte norte del mar del Norte y del norte del Atlántico. En la desembocadura del río Weser, las cantidades fueron aún mayores, de entre 10,000 y 60,000 durante la mayor parte del año (37).

Höhnk estableció que las partes duras calcáreas de los animales marinos (conchas de mejillón, de caracol, jibias, etc.) que se encuentran en los sedimentos están colonizadas por una flora fúngica característica. De 139 muestras de 51 partes del mar del Norte y bajíos adyacentes, 133 muestras de 48 lugares contenían hongos. Se aislaron nueve clases de hongos de esa clase de substratos de los cuales cinco parecen ser habitantes obligados de esas calcáreas de los animales inferiores.

Las levaduras también se encuentran en los sedimentos marinos. Se encuentran particularmente en los centímetros superiores y, son más frecuentes en el cieno obscuro que en los sedimentos arenosos. Se han encontrado varios

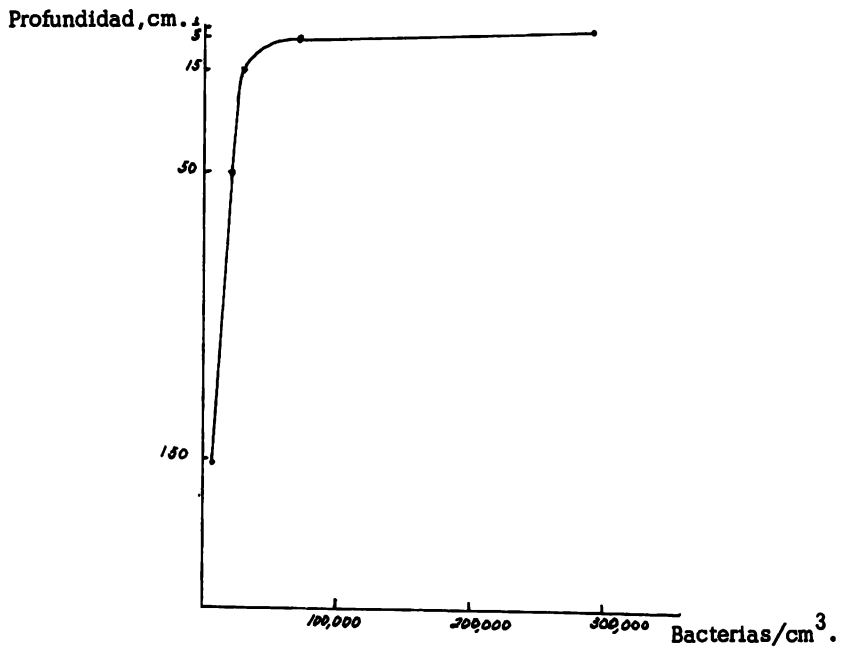


FIGURA 4.3.1 Distribución bacteriana (número de saprófitos) en un sedimento del sur del golfo Pérsico.

cientos de levaduras viables por centímetro cúbico en el cieno húmedo del fiordo de Kiel (37).

Es también interesante la distribución de los microorganismos en las playas arenosas. Por ejemplo, la figura 4.3.2 demuestra el número promedio de saprófitos en el perfil de una playa de la costa del Báltico Occidental. En los sedimentos húmedos de arena hay de varios cientos de miles a varios millones. Debajo de la línea de la marea y bajo el hechazón el número de saprófitos puede elevarse localmente hasta más de 20 millones por cm^3 . En donde las olas golpean contra la playa, el contenido bacteriano de la arena es, por lo general, menor y puede reducirse a unas decenas de miles en épocas de mar encrespado. Por otro lado, el número de bacterias en los bajos arenosos relativamente nutritivos del mar del Norte que se encuentran frente a la costa norte de Sylt son bastante altos con varios millones por centímetro cúbico.

Tomando en cuenta otros aspectos debo mencionar el trabajo de -- ZoBell y Morita que en 1955 encontraron, en 20 diferentes estaciones en una expedición por el Pacífico Medio, una concentración de 10 a 10^4 bacterias por gramo de arcilla roja y fango globigerina, recogidas a profundidades de 1,700 a ... 5,940 m.

4.4 METODOS DE MUESTREO

Un prerequisite esencial para realizar estudios cuantitativos sobre la ocurrencia e importancia de los microorganismos, principalmente las bacterias, en el mar y otras aguas naturales, es un dispositivo satisfactorio para coleccionar

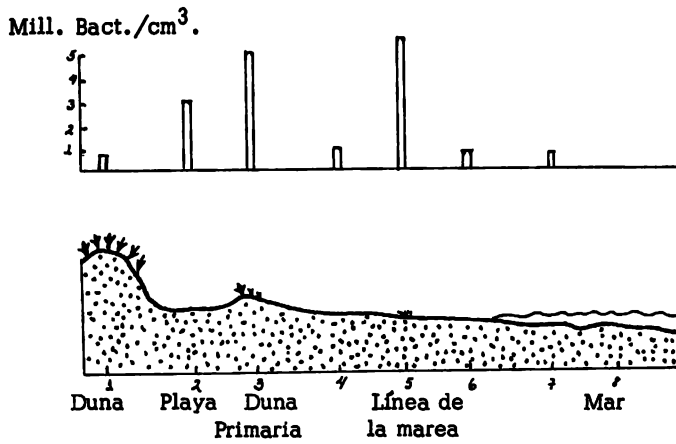


FIGURA 4.3.2 Distribución bacteriana (promedio del número de saprófitos) en la playa arenosa de Bott Sands, en el Báltico Occidental. La mayoría de las bacterias se encuentran por debajo de la línea de la marea; las más pocas se encuentran donde las olas golpean la playa.

muestras de agua, de cualquier profundidad deseada. Tal dispositivo, debe ser fácil de esterilizar, ser susceptible de manipulación aséptica bajo las más rigurosas condiciones de campo, posible de operar a grandes presiones hidrostáticas y debe estar construido de materiales biológicamente inertes.

Un exámen de la literatura revela que más de cien muestreadores bacteriológicos de agua han sido descritos, introduciendo nuevos principios o modificaciones, pero todos tienen limitaciones que restringen su utilidad.

Además de los numerosos métodos que han sido descritos para colectar muestras de agua de la superficie, se usan tres tipos diferentes de muestreadores en general:

- 1.- Botellas de vidrio pesadas, a las cuales se les quita el tapón por medio de una cuerda, resorte o mensajero, a la profundidad deseada.
- 2.- Cilindros que reciben el agua al abrir las válvulas o retirando un pistón y,
- 3.- Recipientes de vidrio con vacío, dentro de los cuales entra el agua al romper un tubo capilar de vidrio.

Es obvio que el trabajo con los muestreadores del grupo 1 está restringido a profundidades relativamente pequeñas, ya que la presión hidrostática a mayores profundidades impide que se quite el tapón de las botellas vacías. (La presión hidrostática del agua se incrementa en 1 atmósfera o 15 libras por pulgada cuadrada, por cada 10 m de profundidad). De hecho, a menos que se prevenga su descenso, los tapones de hule serán empujados dentro de la botella a 50 a 100 metros y evitando esto, las botellas vacías serán aplastadas a profundidades de unos cientos de metros.

En cuanto a los muestreadores del segundo tipo, es objetable mandar hacia abajo un cilindro abierto debido a que se puede contaminar con material extraño mientras desciende a través del agua, y es virtualmente imposible perfeccionar válvulas a prueba de filtración o llaves que se operen con suficiente facilidad para permitir mandar hacia abajo a un cilindro vacío, resistente a la presión.

El tipo 3, es el que más se ha usado ultimamente, y consiste en un recipiente al cual se le adapta un tubo de vidrio cuyo extremo está sellado herméticamente. Al llegar el aparato a la profundidad deseada, el extremo de dicho tubo se rompe con un mensajero, permitiendo así el ingreso del agua.

Al utilizar estos muestreadores para obtener una muestra de agua cerca de la superficie, es necesario tener la botella con vacío parcial. Sin embargo, a profundidades mayores de 10 metros la botella se llena rápidamente con agua aún cuando no esté evacuada; el tiempo que se requiere para que se llene la botella decrece con la profundidad debido al incremento de la presión hidrostática. Una vez que el equilibrio se ha establecido, para lo que se requieren de dos a diez minutos después de que el tubo de entrada se rompe, no hay la posibilidad de que el agua de niveles superiores entre en la botella cuando esta es jalada hacia la superficie, debido a que la presión dentro de la botella es mayor que la del agua a niveles superiores.

Como mencioné antes, el material del que están hechos los muestreadores, debe ser biológicamente inactivo. Las aleaciones de cobre, plomo, níquel, plata, titanio, zinc u otros metales se prestan para fabricar los aparatos de recolección de muestras de agua, pero desde hace años se ha reconocido que todos excepto los metales nobles tienen un efecto oligodinámico. Después de en

contrar una reducción del 97 al 100% en la población bacteriana de 100 ml de agua de mar expuestas a dos pulgadas cuadradas de bronce, níquel, latón y -- otras aleaciones, Drew concluyó que el platino es el único metal adecuado para recubrir el interior de los aparatos de recolección de muestras de agua para análisis bacteriológico.

Bajo ciertas condiciones, la mayoría de las bacterias del agua de mar, mueren en unos cuantos minutos cuando están en contacto con latón, bronce u otras aleaciones que contengan cobre, níquel, titanio o zinc. El agua de mar misma, guardada en recipientes de latón por unas horas, se vuelve bacteriostática para algunas bacterias, aunque permite el crecimiento de otras.

Después de tratar con diferentes tamaños y clases de frascos, tu bos de ensayo y botellas se encontró que las botellas de citrato de magnesio -- (CM) con un tapón de hule de un agujero substituido por un tapón patentado, o las botellas ordinarias de cerveza o refresco son las mejores para recolectar -- muestras de agua. Son económicas, de construcción áspera, con un volumen suficiente y permanecen derechas sobre sus fondos planos sin la necesidad de soportes especiales. Sin embargo, tienen la pequeña tendencia a que sus tapones sean empujados por la presión hidrostática, pero esto se puede prevenir insertando un pedazo de tubo de vidrio de 8 mm de una longitud tal que su extremo inferior descanse en el fondo de la botella y el otro extremo en el tapón.

Los instrumentos del primer tipo requieren de dos cables, uno para bajar el instrumento, y el segundo para quitar y poner el tapón. Sin embargo, sólo pueden usarse adecuadamente en aguas no muy profundas. No son adecuados para tomar muestras a profundidades significativas debido a que los cables a me-

nudo se tuercen, lo que hace imposible abrir la botella. Un instrumento de este tipo se observa en la figura 4.4.1. Está compuesto por un armazón de metal (F) en el cual se coloca una botella (A) con un tapón de vidrio de base plana. Los bordes del tapón se sostienen por dos o tres ganchos (B). El instrumento se baja por una línea (C), que está asegurada a un pequeño arco del instrumento y tiene un cable para abrir la botella (D); este cable está asegurado a un tubo (E) que contiene un resorte que termina en los ganchos (B) que sostienen el tapón.

Al bajar el instrumento, el cable (D) se deja flojo. Cuando el apárato alcanza la profundidad designada, se jala el cable y el tapón de vidrio de base plana es tirado fuera de la boca del recipiente, permitiendo así la entrada del agua. Cuando la botella está llena, el cable se afloja y el tapón cierra el frasco como resultado de la presión ejercida por el resorte colocado en el tubo (E). Una base de metal muy grande (F) sostiene al instrumento en posición vertical. Los pasos del muestreo pueden juzgarse observando las burbujas de aire que suben a la superficie.

Cuando se trabaja a grandes profundidades, un dispositivo sugerido por Isachenko ha resultado muy conveniente. (figura 4.4.2) Es un aparato del tercer tipo que consiste en un cilindro de metal (niquelado) (1) de 30.5 cm de largo. En el extremo superior tiene una abertura (2) para el cuello de un recipiente, y una tapa (3) que lo cierra. En la parte inferior del cilindro hay un doble fondo que puede levantarse o bajarse por medio de un tornillo (4). Con la ayuda de un anillo removible (5) que rodea al cilindro, y una barra de conexión (6) todo el instrumento se une a otro tubo metálico (8) asegurado por dos tornillos (9). Una pesa de 1 ó 2 Kg. (10) se fija al extremo de este cable. Un recipiente esté-

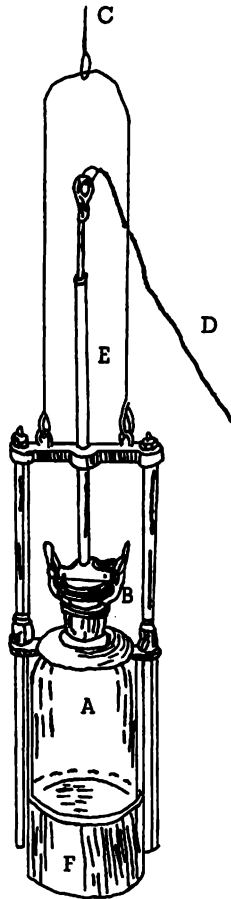


FIGURA 4.4.1 Aparato conteniendo una botella para muestrear agua.
(Ver el texto para descripción y uso)

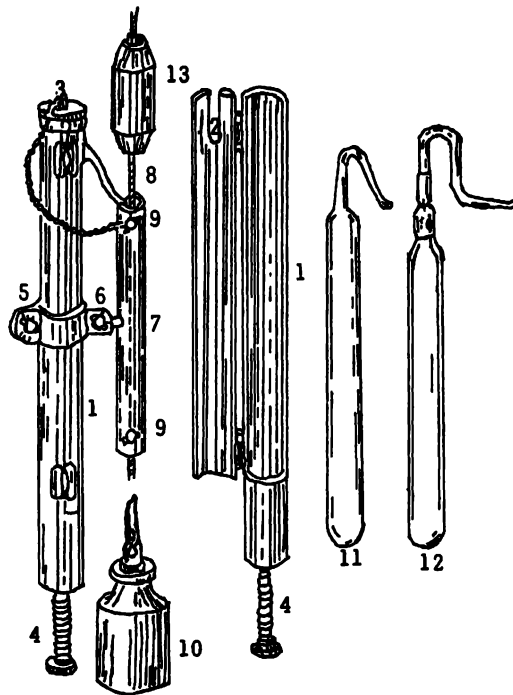


FIGURA 4.4.2 Aparato para muestrear agua usando frascos evacuados y vasos de muestra. (ver el texto para la explicación).

ril con vacío (11) se coloca en el cilindro de tal manera que el extremo del cuello curvo del recipiente se apoye en una depresión especial del tubo metálico (7) que contiene el cable asegurado. El recipiente debe descansar en forma segura sobre el fondo movable; su cuello no debe tocar el borde de la muesca de la pared del cilindro. El recipiente de vidrio está costruido con tubos de vidrio cilíndricos de 26 mm de diámetro, 22 a 27 cm de largo de la base al cuello y 100 a 110 ml de capacidad.

Después de bajar el aparato a la profundidad deseada, se manda un mensajero (13) que pesa 300 gr. aproximadamente. Este rompe la punta del cuello curvo del recipiente de vidrio, el cual se llena de agua inmediatamente. Cuando el aparato se lleva de regreso a la superficie, se sella la abertura del recipiente o se tapa con algodón estéril.

Otro dispositivo de este tipo es el muestreador bacteriológico J-Z de ZoBell (57) el cual consiste de una botella CM equipada con un capilar al cual se une por medio de una manguera de hule de presión de unas 4 pulgadas de largo. Para recoger la muestra de agua, la botella se sujeta al cargador de latón como se vé en la figura 4.4.3. El tubo de hule se tuerce en un ángulo de 180° y se sostiene en esta posición por el resorte de fijación T.C. que se maneja con el pulgar. Cuando se baja dentro del agua a la profundidad deseada, se suelta el mensajero.

El tubo de vidrio se rompe a la mitad entre el sujetador y el extremo de la palanca cuando el mensajero golpea el otro extremo de esta. Inmediatamente el tubo de hule con la pieza rota del tubo de entrada se suelta de golpe y asume su posición erecta otra vez y una muestra de agua es aspirada a 3 ó 4 pulgadas de cualquier parte del aparato. Aún en el instante en que es roto el orificio

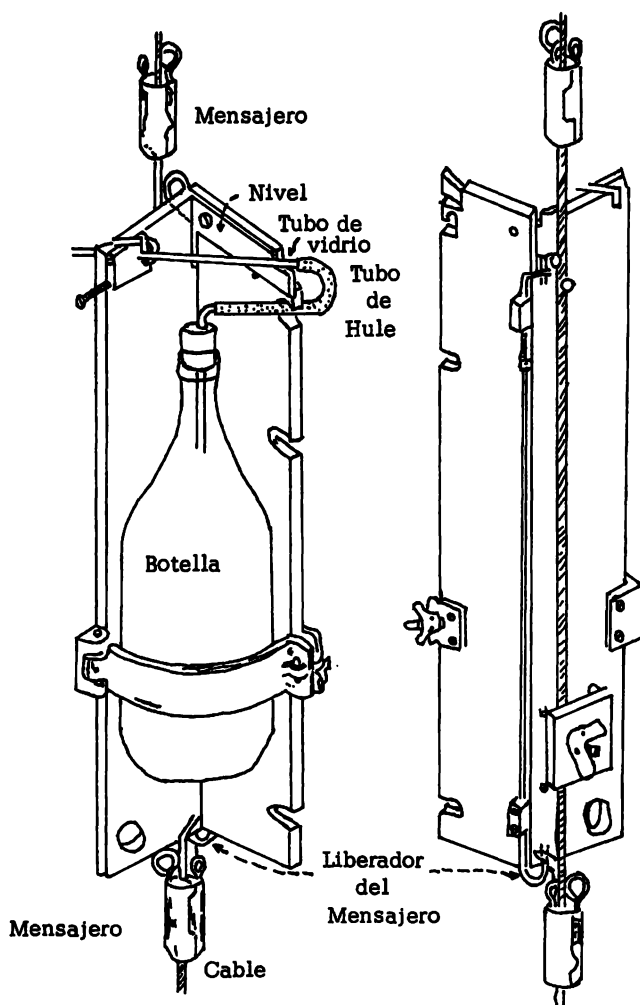


FIGURA 4.4.3 Frente y vista trasera del muestreador bacteriológico J-Z.

está al menos a una pulgada de cualquier parte del aparato que podría cargar organismos contaminantes, y no hay necesidad de que el operador toque el tubo de entrada después de que esté esterilizado.

Aunque la presión hidrostática ayuda a la recolección de muestras de agua, impide el uso adecuado del aparato en todas las profundidades. Algunas de las botellas CM se rompen con la presión hidrostática a profundidades de entre 200 y 300 metros y a pesar de que la mayoría de las muestras de agua para análisis bacteriológico se recogen en la zona biótica que rara vez excede los 200 m, al explorar las regiones abisales del mar, es deseable tener un muestreador bacteriológico que funcione a profundidades de más de 10,000 metros.

Después de experimentar con muchos tipos de dispositivos para salvar el factor presión para recoger muestras a grandes profundidades, se perfeccionó la idea de la botella de hule plegable, idea sugerida por el Dr. Austin Philps del Hoptkins Marine Station. En su forma más simple, se usan bulbos de aspirador de hule pesado en forma de pera con capacidad de unos 100 ml y funcionan igual que el muestreador J-Z.

Los bulbos de hule pueden esterilizarse en un autoclave y después colocarles asépticamente los tubos de entrada con el extremo sellado, con el bulbo colapsado o aplastado. En el mar se pueden esterilizar por ebullición o en caso de emergencia, llenándolos con alcohol al 70% u otro desinfectante y luego - enjuagándolos con agua estéril después de sacar el desinfectante, utilizando técnica aséptica.

Como el hule no es por completo inerte, las muestras no deben dejarse en el bulbo más tiempo del necesario.

Instrumentos para Muestrear Sedimentos.

Hasta el momento, los microbiólogos acuáticos aún no han desarrollado instrumentos especiales para tomar muestras de sedimentos asépticamente. Estas muestras se toman con diferentes aparatos cosntruidos para otros propósitos (como son la enumeración de fauna béntica, el estudio de la composición microzonal del sedimento, la detección de restos animales, etc.)

La elección de los aparatos para el muestreo microbiológico de los sedimentos está determinada por los propósitos de la investigación, así como por la profundidad de la masa de agua y las características de los sedimentos. Debido a que la capa superior del sedimento es el sitio con mayor actividad microbiológica, siempre es importante tomar la muestra del sedimento sin revolverlo o provocar cambios en las capas sedimentarias.

Las muestras de sedimento se pueden tomar por medio de palas de fondo, que son adecuadas para muestrear sedimentos de diferentes densidades a cualquier profundidad. Hoy en día hay muchos sistemas de palas mecánicas. Sin embargo, para investigaciones microbiológicas el único equipo adecuado es aquel en el que la cubierta de la pala puede abrirse desde arriba.

Por otro lado, diferentes tipos de estratómetros pueden usarse -- también para tomar muestras del interior del sedimento. Con uno de estos instrumentos, el investigador puede obtener una parte de sedimento de considerable - longitud (hasta un metrc) en el cual las capas de los sedimentos bénticos pueden verse y estudiarse.

El estratómetro más ampliamente usado fue diseñado por el investigador ruso Perfilyev (fig. 4.4.4). El instrumento consiste de un armazón (1) que soporta pesas removibles (2) y un tubo (3) que realiza el muestreo. El peso del tubo puede incrementarse o disminuirse dependiendo de la densidad del sedimiento y la longitud deseada de la muestra del interior. El aparato está provisto con un seguro especial (4) conectado a un tapón de hule (5) que cierra el tubo cuando el seguro se suelta. Después de tomar la muestra del sedimento y con el aparato ya en la superficie, es necesario cerrar el fondo mientras este está aún bajo el agua. Para hacer esto, se coloca un tapón del diámetro correspondiente bajo el fondo del tubo y se utiliza para sellarlo. Sólo de esta manera puede sacarse el ~~aparato~~ del agua .

Inmediatamente después de que el instrumento llega a la superficie, la muestra de sedimento debe transferirse a un envase de vidrio por cualquier medio disponible. Una manera de hacerlo es empujando la muestra dentro de un tubo de vidrio estéril del mismo diámetro del cilindro original y unir inmediatamente ambos extremos del tubo de vidrio con tapones de hule estériles. Así, la columna de sedimento puede examinarse fácilmente en el tubo de vidrio. Más tarde el tubo puede cortarse en los niveles designados y pueden prepararse las inoculaciones con el sedimento tomado de la porción más central de una de estas capas; nunca deben de tomarse de las partes que están en contacto con las paredes del tubo de muestreo.

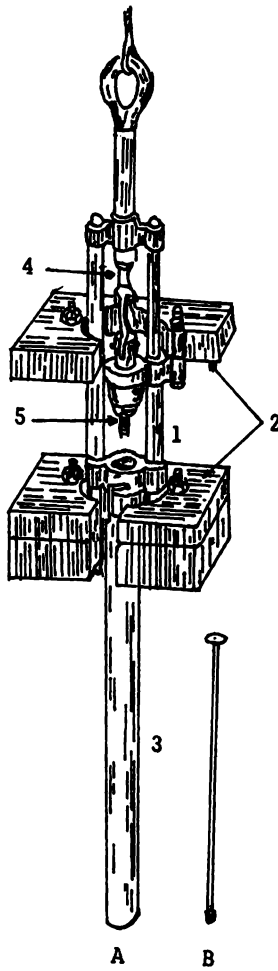


FIGURA 4.4.4 A, estratómetro Perilyev (ver el texto)
B, Pistón para sacar la muestra del sedimento

Instrumentos para Muestrear Agua y Sedimentos

Simultáneamente.

Se han sugerido diversos instrumentos para ser usados en la recolección de sedimentos y del agua que está en contacto directo con los sedimentos bénticos. Uno de estos instrumentos fue diseñado por Baranov y Bun (Fig. 4.4.5). Sus partes básicas incluyen: un cilindro plexiglass de 1 lt. de capacidad (1) con una cubierta (2); un mecanismo de descenso y cierre (3); una pequeña tapa que cierra el cilindro (4); un collar de tubo (5) para aumentar el peso del instrumento; un accesorio para muestrear el suelo (6); y un mensajero. El aparato se baja con la tapa abierta. Esta tapa se cierra cuando el mensajero se manda abajo y la golpea. El muestreador puede usarse sin la parte inferior si sólo va a tomarse muestra de agua.

Todos los instrumentos de este tipo usan cilindros de vidrio o plexiglass, que permiten examinar la muestra y separar el agua béntica a simple vista.

Muestreadores que Retienen la Presión in situ

Para resolver el problema de la descompresión en el muestreo de las zonas profundas del mar, existe un instrumento que puede ser operado como muestreador y como recipiente de cultivo presurizado. La muestra de 1 litro no sufre cambios de presión durante el llenado en el sitio de muestreo ni durante el

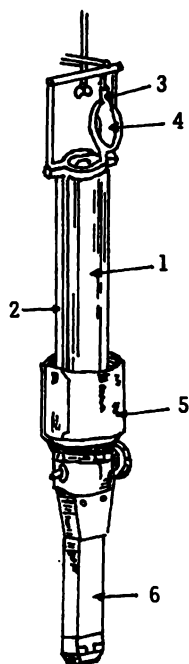


FIGURA 4.4.5 Aparato Baranov para muestrear sedimento y agua béntica
(ver el texto)

regreso a la superficie ni en los prolongados períodos de incubación en el laboratorio. Además, pueden tomarse o añadirse muestras secundarias de 13 ml sin afectar a la presión que hay dentro del recipiente.

Este muestreador fue diseñado para que pudiera: a) no ejercer - ningún gradiente de presión en ningún momento durante el muestreo y, b) retener la presión in situ durante y después de la recuperación. La utilidad de este muestreador dependía de la posibilidad de una observación y cultivos contínuos de - los microorganismos recolectados, durante la incubación en el laboratorio, por lo que se le adaptó un dispositivo para añadir y sacar muestras de 13 ml para po der seguir las curvas de crecimiento, velocidades de conversión de substratos, cambios morfológicos, etc., por técnicas corrientes en dichas muestras, durante períodos prolongados de incubación.

Este muestreador fue construido para operar bajo presiones de más de 200 atm, con un margen de seguridad de 2.5 veces.

Observando la figura 4.4.6 vemos que el muestreador consta de dos cilindros apilados, cada uno con un pistón (a, b). De las tres cámaras (A, B, C), la B está dividida en dos secciones por un bloque fijo que contiene un orificio ajustable (c) y una puerta (d) para el prellenado con agua destilada estéril. La cámara de muestra A (capacidad 1 litro) está forrada con teflón no poroso. La tapa superior contiene la válvula de entrada de la muestra (e) y la tapa inferior una válvula (f) para cargar la cámara C con aire.

Antes de bajar el instrumento, la cámara C se carga con aire. La presión aplicada se calcula para asegurarse un colchón de aire lo suficientemente grande cuando la muestra es tomada y mantenida a la presión in situ. En el

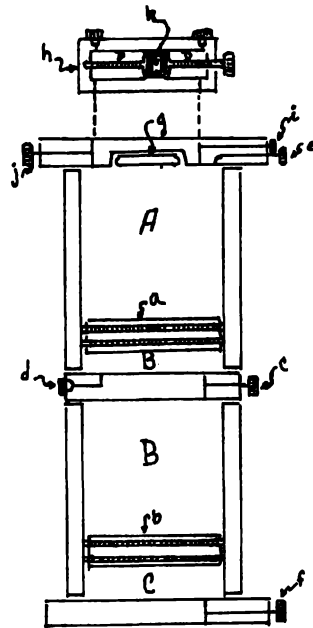


FIGURA 4.4.6 Diagrama del muestreador y recipiente de cultivo que retiene la presión, con la unidad de transferencia (ver el texto).

sitio del muestreo, el orificio (e) de 3 mm de diámetro se abre (operado por el brazo mecánico del submarino de investigación Alvin, por un mensajero o por un dispositivo sensible a la presión) y la cámara A comienza a llenarse. La velocidad de entrada del agua está determinada por el orificio (c) preajustado. El agua destilada en la cámara B actúa como fluido de repulsión que impide que se forme un gradiente de presión entre la cámara A y el agua exterior. En pruebas de presión, se estableció el tiempo de llenado en 15 minutos.

Al completarse el llenado, el orificio (e) se cierra con el brazo mecánico del submarino. Si se opera con mensajero, el orificio se cierra con una válvula de retención. Después de recuperar el muestreador se cierra a mano otra válvula en este orificio y la válvula de retención se retira. Los dos pistones flotantes quedan en su posición baja (como en la figura) lo cual permite movimientos verticales libres, por ejemplo, cambios de volumen razonables en A con cambios mínimos de presión.

Durante la incubación a temperaturas constantes, la muestra es mezclada suavemente con una barra agitadora magnética (g) montada en la tapa superior y operada con un rotor magnético desde el exterior.

La sustracción de sub-muestras se simplifica enormemente cuando una muestra líquida proporcional, por ejemplo, agua de mar estéril, se añade al cultivo simultáneamente. La unidad de transferencia (h) se ajusta a la tapa superior del muestreador después de que la cámara D esterilizada en autoclave y el canal de transferencia han sido llenados con agua de mar estéril. Cuando las válvulas (i) y (j) están abiertas, la unidad de transferencia se presuriza sin pérdida de presión en la cámara A. El pistón de desarmador (k) se mueve de una

posición extrema a otra, transfiriendo el medio estéril a la cámara de cultivo - mientras se saca la muestra de la cámara de cultivo al mismo tiempo. Cuando el mezclado se detiene durante esta operación, la cantidad de medio fresco que con tiene la muestra tomada es despreciable. Después de cerrar las válvulas (i) y (j), las muestras se retiran para su análisis y se quita la unidad de transferencia.

Aplicando presión desde el exterior a una de las dos puertas de llenado de la unidad de transferencia, pueden tomarse muestras de cultivo sin la adición simultánea de medio estéril. La disminución correspondiente de presión en la cámara A depende de la carga de la cámara C. Una presión de incuba ción de 200 atm disminuiría 3% si se retiraran 10 ml de un cultivo de 1,000 ml. Esto puede compensarse ajustando la presión usando la válvula (f) (22-A).

Como ya mencioné, existen tantos y tan variados tipos de muestreadores que, a pesar de que tienen una u otra limitación siempre habrá uno - adecuado a los fines particulares de una investigación, por lo cual, tenemos la posibilidad de escoger aquel que mejor se adapte a nuestras necesidades y posi bilidades o usar dos o más muestreadores juntos para soslayar los posibles erro res de muestreo que pudieran presentarse en caso de usar uno sólo.

4.5 METODOS DE CUANTIFICACION

El estudio de los organismos en el océano involucra su enumeración como un índice general de su actividad y como medida de su biomasa, con lo cual puede calcularse la importancia de los microorganismos en la productivi-

dad del mar.

Sin embargo, poco se ha hecho para evaluar la importancia intrínseca de los resultados obtenidos con los diferentes métodos de cuantificación. Aunque los métodos de cultivo para cuantificación son ampliamente usados, sus resultados son sólo un pequeño porcentaje de los microorganismos presentes en realidad.

La aplicación de los métodos microscópicos directos en la bacteriología marina nos ha llevado a cuentas de 200 a 5,000 veces mayores que las cuentas en placa.

Entre los métodos de cuantificación por cultivo más ampliamente usados tenemos: cuenta de macro colonias en agar nutritivo, sílica gel y filtros de membrana; cuentas de microcolonias en filtro de membrana y el método de extinción de la dilución (Método del Número más Probable N.M.P.)

Los métodos microscópicos directos más empleados son: cuenta directa de microorganismos sobre filtros de membrana y cuenta de microorganismos transferidos de filtro de membrana a porta-objetos (Método de Cholodny).

El método de la cuenta de macro colonias en agar nutritivo o sílica gel puede hacerse de dos maneras; por placa vertida o mediante inoculación sobre la superficie del agar. Ambos métodos son más o menos equivalentes, o sea, nos dan cuentas similares de las mismas muestras de agua, aunque los de la inoculación sobre la superficie del agar son ligeramente mayores. Se ha tratado de explicar esto basándose en la posibilidad de que algunos organismos nativos de aguas con una temperatura de menos de 20°C (temperatura que predomina en casi todos los mares) podrían ser muertos incluso por la corta exposición

a los 45°C que tiene el agar fundido cuando se vacía en la caja de Petri. Sin embargo, una ventaja de las placas vertidas es que en ellas crecen los microorganismos microaerofílicos y anaerobios bajo la superficie del agar, lo que en cierta forma nivela las cuentas de ambos métodos. Otro aspecto importante es que la cuenta de colonias es mucho más fácil cuando sólo se inocula la superficie del agar.

La cuenta de macrocolonias en filtro de membrana, se realiza pasando de 2 a 50 ml de agua de mar por una membrana Millipore estéril para concentrar los microorganismos. Dicha membrana se coloca sobre hojas de celulosa adsorbente empapadas con el medio de cultivo y se incuban en cámara húmeda. La temperatura y tiempo de incubación puede variar según la muestra. Se consideran macrocolonias aquellas que son lo suficientemente grandes para ser visibles a simple vista. La membrana suele teñirse con azul de metileno de Loeffler para hacer más visibles las colonias muy pequeñas.

El método de la cuenta de microcolonias en filtro de membrana - fue descrito por Jannash (21) y en él las colonias se desarrollan sobre filtros de membrana impregnados con medio nutritivo y se cuentan bajo el microscopio con un aumento de 430 a 970 x. Se usa un filtro Millipore de 25 mm para concentrar los microorganismos de la muestra y cuando mucho se agrega 1% del medio usado en el método de las macrocolonias. La disminución del tiempo de incubación y la baja concentración de nutrientes eliminan la posible toxicidad de estos últimos y regulan el sobrecrecimiento de las células de rápido crecimiento.

En el método de la extinción de la dilución (NMP) se utilizan diluciones de la muestra desde 10^0 hasta 10^{-6} en caldo, y el crecimiento se de-

termina por la turbidez presente después de la incubación; el número más probable de microorganismos estimado a partir de la distribución de los tubos negativos y positivos se establece por medio de las tablas correspondientes.

El principal inconveniente de estos métodos es que los medios de cultivo no son lo suficientemente adecuados como para permitir el crecimiento de todas las bacterias presentes en las muestras de agua o sedimentos.

Aun cuando se requieren medios especiales para ciertos grupos de organismos y para propósitos especiales, las cuentas máximas se han realizado en el medio nutritivo para bacterias marinas 2216-E de ZoBell (56), el cual contiene:

Bacto peptona	5.0 g
FePO ₄	0.01 g
Bacto agar	15.0 g
Agua de mar con salinidad ajustada a 28 g/l	1,000 ml
pH ajustado a	7.6-7.8

Ahora bien, la selección del medio es, por supuesto uno de los factores esenciales en la investigación de la flora bacteriana del océano, ya que el número de bacterias que se obtienen con los métodos culturales son a veces de sólo un milésimo de los cientos obtenidos por los métodos microscópicos directos.

El medio más usado, como ya dije antes, es el 2216 de ZoBell, al cual se le han hecho varias modificaciones, como la adición de extracto de levadura en diferentes concentraciones, incorporación de extractos de fango ma-

rino, peptona de pescado, extracto de pescado, etc.

La mayoría de estos medios para bacterias marinas se preparan con agua marina natural. Sin embargo, la composición del agua de mar varía de un lugar a otro, particularmente en las sustancias orgánicas e inorgánicas de menor cantidad que son importantes para la nutrición de los microorganismos planctónicos.

Además, los medios basados en agua de mar natural tienden a producir copiosas precipitaciones, especialmente a un pH mayor de 7.6, pH en el cual el crecimiento bacteriano es óptimo. Es por esto que se han realizado experimentos con medios hechos con agua de mar artificial que han dado cuentas bacterianas un poco mayores en algunos casos (39) pero, a pesar de los inconvenientes mencionados los medios con agua de mar natural son los mejores y más usados.

Por otro lado, se ha comprobado que el mejor agente solidificante es el agar. Sin embargo, la sílica gel tiene ciertas ventajas para el estudio de los requerimientos nutricionales de las bacterias, debido a que está químicamente definido y es biológicamente inerte; además, solidifica a cualquier temperatura deseada dentro del rango biológico. Ambos agentes son mejores que la gelatina, ya que esta es hidrolizada por un gran número de bacterias marinas.

En el método microscópico directo sobre filtros de membrana las muestras se tratan con formaldehído y varias diluciones de cada muestra se filtran para obtener una distribución óptima de los microorganismos en la superficie de la membrana. Se añade agua destilada estéril durante los últimos pasos de la filtración para eliminar sales. La tinción con azul de metileno produce mejores

resultados en la cuenta de microcolonias, pero una solución al 1% de eritrocina en fenol al 5% ha probado, a menudo, ser superior en la diferenciación de las células individuales. Aún con esta técnica, el bajo contraste óptico de los campos microscópicos hace difícil, si no es que imposible, diferenciar las formas microbianas más pequeñas de las partículas inorgánicas sobre la superficie de la membrana. Las formas no distinguibles no se cuentan.

El método de Cholodny involucra la enumeración de microorganismos sobre porta objetos después de concentrarlos por filtración. Este método ha sido modificado ligeramente: dependiendo de la densidad bacteriana esperada, de 100 a 2,000 ml de agua de mar son fijadas inmediatamente con formaldehído al 1%. La muestra se pasa a través de un filtro de membrana usando el aparato ilustrado en la figura 4.5.1. Moviendo la llave de dos bocas (E) la filtración por vacío se detiene cuando quedan dos o tres ml arriba del filtro. Las sales se remueven lavando varias veces con agua destilada estéril. Se debe tener cuidado de dejar unos mililitros de solución encima del filtro. Dos precauciones en el diseño del aparato impiden depósitos pegajosos en la superficie del filtro que dificultarían la remoción cuantitativa: 1) un plato de vidrio ultrafino (B) con una velocidad de filtración menor que la del filtro de membrana y 2) un anillo de colodión (C) de 2 mm de ancho, que se agita mecánicamente en la superficie del filtro durante la filtración. El número de microorganismos que permanecen en el filtro de membrana se determina por exámen microscópico y sirve como control. Las células bacterianas que quedan representan el 1.5% del promedio y no exceden el 8.5% de la cuenta total. La muestra concentrada se transfiere cuantitativamente a pequeños tubos de ensaye y se ajusta a un cierto volumen (3 a 5 ml) -

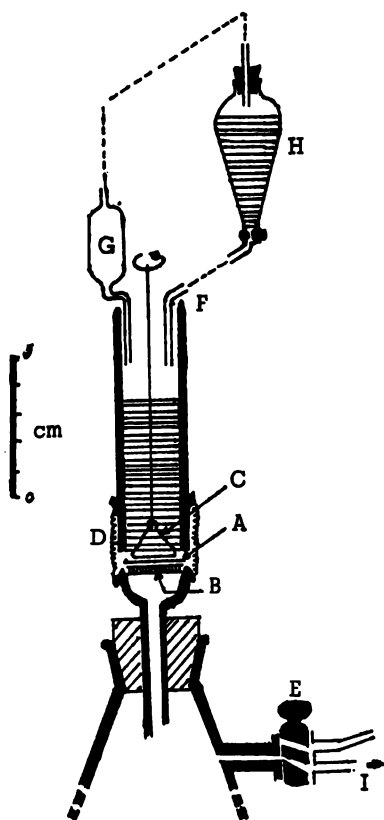


FIGURA 4.5.1 Aparato de filtración para el Método de Cholodny. A) Filtro de membrana, B) plato de vidrio ultra fino, C) Agitador de colodium en forma de anillo, D) Resorte, E) Llave de dos bocas, F) Entrada de muestra, G) Nivel de control, H) embudo de separación, (reducido en la escala) conteniendo la muestra, y I) salida conectada al vacío.

con formaldehído al 5%. El formaldehído también se usa para lavar la superficie del filtro. Con un calípar calibrado o con una micropipeta, se transfieren 0.01 ml de la muestra concentrada a un porta objetos, se secan y se tiñen con solución al 2% de eritrocina en fenol al 5% por lo menos durante 5 horas. El porcentaje de error de las cuentas obtenidas por este método se basa en el exámen de 25 campos microscópicos de cada muestra. En las tablas, el por ciento de error se calcula con $\frac{\bar{S}x}{\bar{x}} \cdot 100$, donde $\bar{x}$ es la media y $\bar{S}x$ es la desviación estandard de la media (22).

Los métodos microscópicos directos poseen la ventaja de revelar un número más exacto de microorganismos en una muestra, que los métodos de cultivo, pues hacen caso omiso de sus requerimientos nutricionales o de su condición fisiológica y estos resultados se obtienen en un período de tiempo muy corto. Sin embargo, no hay manera de determinar si la bacteria observada está viva o muerta, y no pueden usarse para estudios de cultivo. Las cuentas directas pueden incrementarse por la presencia de células inactivas o muertas, aunque, Karsiskin y Kustenov, en 1931 y Alfinov en 1954, usando una tinción con eritrocina para diferenciar el protoplasma vivo del muerto, encontraron bajos porcentajes de bacterias muertas en el agua de mar.

Otro inconveniente de los métodos directos son las partículas de materia presentes en la muestra que simulan la apariencia de microorganismos y además, los agregados de bacterias son difíciles de desintegrar.

Se han dado diferentes explicaciones del porqué el número de microorganismos obtenido por los métodos directos es tan superior al obtenido con los métodos de cultivo. Algunos de ellos son los siguientes:

1) Los métodos de cultivo no permiten el crecimiento de todos los microorganismos que se encuentran en la muestra. Por ejemplo, por el método directo se han encontrado grandes cantidades de organismos grandes en forma de espirilos (4 - 15 micras de largo y 1 - 3 de ancho), pero ninguna de estas formas se observó en preparaciones microscópicas hechas de colonias o tubos de dilución de los cultivos obtenidos a partir de la misma muestra de agua (22).

2) Otro factor que disminuye las cuentas en placa son los agregados de bacterias, cuya ocurrencia es, para algunos autores, la principal diferencia entre los métodos directos y los de cultivo.

3) Otra explicación es la presencia de organismos autotróficos y organotróficos.

4) Por último se ha establecido que una alta concentración de nutrimentos puede ser tóxica o actuar como bacteriostática para algunas especies.

CAPITULO V

INFLUENCIA DE LOS FACTORES FISICOS Y QUIMICOS DEL MEDIO SOBRE LOS MICROORGANISMOS MARINOS.

INTRODUCCION

El crecimiento y la actividad de los microorganismos marinos están afectados por una gran variedad de factores físicos y químicos. Estos factores ejercen su influencia no sólo en el tamaño y composición de la población microbiana, sino también en la morfología y fisiología de las bacterias y hongos como seres individuales. Así, la temperatura, la concentración de sales y los valores de pH por arriba y por debajo del óptimo pueden provocar considerables cambios en el metabolismo, morfología celular y reproducción de dichos organismos. Por ejemplo, bacterias que normalmente son bacilos pueden cambiar a cocos o filamentos largos; ocasionalmente pueden ocurrir divisiones celulares irregulares o ramificaciones; la síntesis de enzimas puede cambiar y, en consecuencia, la habilidad para descomponer ciertas sustancias puede ser promovida o inhibida. En los hongos la formación de cuerpos de fructificación y esporangios se ve afectada también por efecto de dichos agentes.

Aunque en cualquier hábitat natural siempre hay numerosos factores de diferente índole que actúan sobre las criaturas vivas presentes, algunos de estos factores son particularmente importantes, principalmente aquellos que limitan la posibilidad de vida dentro de un área determinada.

En general, se puede decir que la vida de los organismos ocurre entre los puntos cardinales del mínimo, óptimo y máximo, los cuales difieren para cada especie y cepa. Sin embargo estos puntos no son rígidos, sino que pueden variar debido al efecto de otros factores. En la naturaleza, muchas especies no

siempre se desarrollan mejor dentro de su rango óptimo, ya que pueden ser inhibidos por la competencia con otros organismos. Esta es también la razón del por qué algunos habitantes extremos muestran, en cultivos puros, un óptimo enteramente diferente del que se podría esperar por su medio ambiente natural.

El conocimiento sobre estos factores y su influencia sobre los microorganismos marinos se ha ampliado considerablemente durante los últimos años, pero a menudo es difícil interpretar los resultados obtenidos in vitro en el laboratorio con los organismos dentro de su hábitat natural.

5.1 LUZ

La luz es un importante factor ecológico en el océano. Sin embargo, su intensidad disminuye rápidamente a medida que penetra en el agua. Así, en el mar del Norte, la intensidad de la luz a una profundidad de 20 metros es de sólo 1% de la que hay en la superficie, mientras que en el Mediterráneo, que es mucho más claro, es aún del 7.5%

Además, la intensidad de la luz incidente varía con el lugar, la estación y la hora del día. La disminución de la intensidad de la luz con la profundidad se debe a la absorción por el agua y la materia particulada suspendida (incluyendo los organismos planctónicos) y a la reflexión hecha por el plancton y otra materia suspendida. También ocurre cierta reflexión de la luz, realizada por las moléculas de agua (dispersión molecular). Esta dispersión de la luz también es producida por las partículas de materia; el color azul del agua oceánica clara se debe a la dispersión hacia arriba de la luz azul, mientras que las aguas coste

ras se ven verdes debido a que tienen una mayor cantidad de partículas suspendidas que tienden a reflejar la luz de mayores longitudes de onda.

Así, en el mar se pueden presentar tres zonas verticales según la luz disponible. Estas son, la zona luminosa o fótica, la zona disfótica y la zona afótica. En la primera hay suficiente luz para la fotosíntesis; la zona disfótica es demasiado oscura y la zona afótica es oscura y libre de seres fotosintéticos.

Las profundidades de estas zonas dependen de la latitud y estación así como de características locales como la proximidad de la tierra, la cantidad de tierra que vierten los ríos y la cantidad de material en suspensión.

Ahora bien, dependiendo del grado de turbidez del agua, se pueden encontrar intensidades de luz biológicamente activas a profundidades desde 10 hasta 100 m y en algunos lugares hasta 200 m. Un índice de esto se obtiene a menudo con el límite inferior del crecimiento de las algas y se mide exactamente por medio del llamado Nivel de Compensación, que es el nivel en el que la cantidad de luz presente es suficiente para que las velocidades de fotosíntesis y respiración están equilibradas, o sea que la producción de carbohidratos sea igual al consumo de los mismos.

Las plantas verdes pasan sus vidas en la zona luminosa o fótica, o sea, por encima del Nivel de Compensación y prácticamente ahí se produce toda la sustancia orgánica, si no consideramos la proporción producida por las bacterias quimioautotróficas cuya producción es, además, desconocida.

Para el número relativamente pequeño de bacterias fotoautotróficas - clorobacterias y bacterias púrpuras - la luz provee la energía necesaria para reducir el CO_2 , al igual que con las plantas verdes. Sin embargo, como son anaerobias estrictas no son capaces de disociar el agua; en lugar de ella tienen

que usar H_2S o diferentes compuestos orgánicos como donadores de hidrógeno. O sea, que dichas bacterias pueden crecer en todas las zonas acuáticas anaerobias en donde haya suficiente luz para un balance de asimilación positivo.

Si la radiación es fuerte, las clorobacterias y las bacterias púrpuras no ocupan la región superficial, sino una zona ligeramente profunda ya que sus procesos vitales en general y su fotosíntesis en particular, son inhibidos por la radiación fuerte. Esto, en realidad, sucede con la mayor parte de las especies del fitoplancton, que tienen su profundidad óptima en verano a varios metros debajo de la superficie.

El efecto dañino de la luz es aún más fuerte sobre las bacterias no pigmentadas y no sólo se debe a la parte ultravioleta del espectro como se creyó durante mucho tiempo, sino también a la luz de longitudes de onda visibles. La luz azul, particularmente de una longitud de onda en el rango de 366 a 436 nm inhibe la oxidación de nitritos por Nitrobacter winogradskyi; en contraste la luz roja no tiene efecto inhibitorio. Además, las bacterias heterotróficas son inactivadas y finalmente muertas por la luz. Bock en 1965 encontró que en Nitrosomonas europaea y en Nitrobacter winogradskyi los citocromos vitales son destruidos de manera que las células finalmente perecen. 54,000 lux matan a Nitrobacter después de sólo 4 horas; Nitrosomonas después de 24 horas. Así, la sensibilidad a la luz varía ampliamente con cada especie individual.

Puede asumirse que este efecto inhibitorio de la vida bacteriana en la zona superficial del agua se presenta donde la fuerte radiación del sol alcanza el agua; estas zonas varían con la latitud, la estación, la hora del día y la transparencia del agua, pero generalmente ocurre en los primeros 2 a 5 metros de pro-

fundidad; el neuston (conjunto de organismos animales, vegetales y protistas que viven en la microcapa superficial del océano y que tiene unos milímetros de espesor), es particularmente afectado. En las aguas turbias, la inhibición debida al flujo de radiación se presenta sólo en los centímetros más superficiales. pero en las regiones oceánicas, el efecto inhibidor de la luz puede extenderse varios metros por debajo de la superficie. El número relativamente bajo de bacterias que se encuentran inmediatamente por debajo de la superficie en algunas regiones del mar puede deberse, entre otras cosas, al efecto del fuerte flujo de radiación.

Algunos hongos marinos también son inhibidos por la luz, e igualmente, el efecto de la parte azul y verde del espectro es mayor que el de la parte roja. Así por ejemplo, la luz verde y azul suprime completamente la formación de órganos rudimentarios en Saprolegnia ferax mientras que la luz roja sólo lo hace parcialmente. Un efecto similar sobre el crecimiento y la formación de esporas se ha observado en Blastocladiella emersonii y en B. britannica. Cultivos de Rhizophlyctis rosea, expuestos a la luz producen considerablemente más pigmento que cuando se mantienen en la obscuridad y el desdoblamiento de glucosa por estos hongos es inhibido por la luz. En contraste, no se puede observar ningún efecto dañino de la luz sobre el crecimiento o reproducción de otros hongos inferiores.

Se sabe que la luz solar puede inhibir a las bacterias no pigmentadas y a algunos hongos del mar dentro de una estrecha zona superficial. La profundidad de esta zona depende de la intensidad de la radiación y de la turbidez del agua. Además este efecto de la luz depende de otros factores, como la

temperatura. Sin embargo, no debe sobreestimarse la importancia de la luz, aún en aguas claras. La parte ultravioleta del espectro sólo puede penetrar a una distancia máxima de un metro; la luz azul puede penetrar a una distancia considerablemente mayor, pero su intensidad decae tan rápidamente en los primeros metros de profundidad, que el efecto inhibitor sobre los microorganismos, difícilmente puede darse a profundidades mayores.

5.2 TEMPERATURA

Los procesos vitales de todos los microorganismos están afectados por la temperatura. Todos los organismos tienen una temperatura máxima, una mínima y una óptima de crecimiento. Así, las bacterias y los hongos sólo pueden crecer dentro de un rango limitado de temperatura que va de -10 a 90°C . Dentro de este rango, la temperatura afecta la velocidad de crecimiento, los requerimientos de nutrimentos y, en un grado menor, la composición enzimática y química de las células; es decir que la habilidad de los organismos para funcionar está directamente relacionada con la temperatura ambiental.

Como ya se apuntó en anteriores capítulos, más del 90% (en volumen) del medio ambiente marino tiene una temperatura de 5°C o menos, aún cuando esta oscila desde unos -3 hasta unos 42°C en los trópicos.

Las masas de agua por encima de la termoclina se caracterizan por tener variaciones de temperatura, dependiendo de la localización geográfica, mientras que el agua que está por debajo de la termoclina es uniformemente fría, con temperaturas de -1.5 a 4.5°C .

La temperatura máxima de crecimiento de las bacterias aisladas

de aguas tropicales y templadas (excepto los termófilos que tienen muy poca importancia en el mar) es sólo unos cuantos grados mayor que su temperatura ambiental. Aun cuando las bacterias esporuladas termofílicas y las bacterias reductoras de sulfatos se han aislado a partir del medio marino, son probablemente inactivas, excepto en algunas localidades aisladas como es el mar Rojo en cuyo fondo existe cierta actividad geotérmica.

Las bacterias psicrófilas son muy numerosas en el mar, ya que predominan en él las bajas temperaturas. Sin embargo, su temperatura óptima de crecimiento a menudo está entre 10 y 15°C por lo que también pueden crecer en las zonas de climas templados.

La termosensibilidad de las bacterias marinas fue demostrada por primera vez por ZoBell y Conn. La mayoría de los microorganismos no soportan la temperatura de siembra del agar (45°C). El calentamiento de muestras de agua de mar o de sedimentos marinos a 30°C durante 10 minutos es suficiente para matar aproximadamente a un 25% de las bacterias, mientras que una temperatura de 40°C durante 10 minutos puede matar al 80% de las bacterias. Un psicrófilo obligado, Vibrio marinus MP-1, pierde su viabilidad cuando se le expone a 28.9°C durante 6.25 horas. También se ha notado que los psicrófilos obligados pierden su viabilidad cuando se exponen a temperaturas de 20 a 30°C. Debido a su termosensibilidad, la mayoría de las bacterias marinas pueden clasificarse como psicrófilas facultativas o psicrófilas obligadas.

Debido a esta termosensibilidad el aislamiento de los microorganismos psicrófilos obligados es difícil y a menudo ha fallado en las primeras investigaciones, razón por la cual se han descrito como raros, en la literatura.

También es incorrecta la muy diseminada idea de que los psicrófilos tienen un tiempo de generación mucho muy largo, ya que Morita y Albright, trabajando con Vibrio marinus señalaron que tiene un tiempo de generación de 80.7 minutos a 15°C y de 226 minutos a 3°C; con esto podemos ver que la diferencia no es considerable.

En las zonas calurosas y en las aguas cercanas a la superficie, los psicrófilos escasean, predominando las bacterias y los hongos mesofílicos (entre 10 y 50°C con un óptimo de 30-40°C); sin embargo, se ha encontrado que en zonas de clima templado, cuando el agua se enfría en invierno, la proporción de mesófilos declina, elevándose el número de psicrófilos.

Los psicrófilos se encuentran principalmente por debajo de la termoclina y ampliamente distribuidos incluso en ambas regiones polares. Ahora bien, los datos acumulados por varios investigadores indican definitivamente que los psicrófilos juegan un papel importante en los ciclos de la materia. Por ejemplo, si el agua fría es impulsada hacia arriba por cualquier fenómeno (circulación termohalina), existe la posibilidad de provocar una lisis térmica de los organismos psicrófilos, lo cual liberaría en el agua varios compuestos que son necesarios para otros organismos que viven en aguas más superficiales y por lo tanto más cálidas.

Cambiando un poco nuestro punto de vista, vemos que las temperaturas que exceden el máximo tolerado provocan rápidamente la muerte. Mientras que temperaturas menores que el mínimo rara vez son letales.

Se han planteado muchas razones acerca del por qué los organismos de los diferentes grupos térmicos no pueden tolerar temperaturas elevadas,

que eventualmente conducen a la muerte de la célula. Entre estas razones están:

- 1) Desorganización intracelular.
- 2) Uso acelerado de una reserva de aminoácidos intracelulares.
- 3) Cambios en la extensión de la saturación celular de lípidos.
- 4) Inactivación de enzimas por las elevadas temperaturas.
- 5) Inactivación de los sistemas formadores de enzimas.
- 6) Pérdida del control de la permeabilidad y
- 7) Derrame de los componentes celulares por daño térmico.

La cuestión es si todos estos eventos ocurren a la vez o si hay una secuencia de eventos en la incapacidad de ciertos grupos térmicos para resistir a la tensión térmica. Igualmente importante es la respuesta a la pregunta del por qué las bacterias psicrófilas obligadas funcionan también a la temperatura de su hábitat natural que, a veces, puede ser hasta de 20°C menos que su temperatura óptima de crecimiento.

Por otro lado, las temperaturas por debajo del mínimo no matan a los microorganismos, sino que a menudo detienen el metabolismo de tal manera que muchos microorganismos pueden permanecer en ese estado de animación suspendida durante períodos muy largos. No obstante, el congelamiento puede provocar la muerte de un cierto número de bacterias afectadas. La causa de la muerte por congelamiento no está completamente clara. Frecuentemente se asume que se debe a la formación de finos cristales de hielo en las células. Esto puede ser cierto para los hongos pero, no hay una evidencia segura de que ocurra en las bacterias. Los exámenes microscópicos no revelan ni cristales de hielo ni ningún daño mecánico en las células. La ausencia de vacuolas en la mayoría de las

bacterias marinas puede ser relevante en este contexto, debido a que al no tener estos organelos que contienen material de reserva que almacena agua, es más difícil que se formen los cristales de hielo mencionados. La velocidad de congelamiento puede afectar la proporción de sobrevivencia menos de lo que se creyó originalmente.

Otro efecto que provocan las temperaturas cerca del mínimo o del máximo, es que causan cambios morfológicos en diversos hongos y bacterias. Por ejemplo, Agrobacterium luteum crece óptimamente a 25°C y muestra crecimiento filamentosos a 30°C.

Sieburth estableció un ciclo de vida dependiente de la temperatura para Arthrobacter con un estado miceloide gram negativo por debajo de los 20°, formas gram positivas con artrosporas entre los 20 y 26°C y un estado corineforme gram positivo por arriba de los 26°C.

Una gran dificultad que encontramos al estudiar el efecto de la temperatura es que en la naturaleza se encuentran una gran variedad de microorganismos cuyos procesos vitales interactúan entre sí, de tal manera que se introduce un factor de competencia, el cual no siempre permite establecer cual es el efecto característico de la temperatura sobre una clase particular de microorganismo; además los diferentes efectos de la temperatura pueden superponerse. Esto puede ser particularmente pronunciado en aguas muy contaminadas en las cuales una elevación de la temperatura da por resultado un incremento en la actividad y una reducción del tiempo de generación, pero los efectos tóxicos también aumentan y se acelera la autólisis.

En lo que se refiere a las algas, los experimentos de laboratorio

diseñados para probar la tolerancia a la temperatura que tiene el fitoplancton - han dado, en ocasiones, resultados contradictorios. Por ejemplo, se ha encontrado que una especie de Chlorella planctónica aislada de un lago en el cual la temperatura nunca excede los 7°C , presenta, en los experimentos de laboratorio una temperatura óptima de 20°C . Esto puede deberse, como ya se dijo antes al hecho de no tomar en cuenta los factores que pudieran interferir como son los nutrimentos presentes, la cantidad de luz, la salinidad, las interacciones entre los microorganismos y entre los factores, etc.

Ahora bien, hay una gran evidencia de que la fotosíntesis del fitoplancton puede realizarse bajo temperaturas extremas, por ejemplo en la antártida, a temperaturas por debajo de los 0°C o en los bancos de lodo tropicales, donde la temperatura puede alcanzar los 30° o más. Algunas observaciones de campo sugieren que ciertos organismos exhiben un patrón estacional que en parte está controlado por la temperatura. Así, las "masas" de algas verde azules en lagos de agua dulce ocurren principalmente en verano, y la abundancia variable de dinoflagelados en los mares templados puede deberse a su tolerancia a temperaturas relativamente altas. Se ha reportado que la sucesión de especies en la explosión primaveral de los mares templados está controlada por la temperatura, con las especies psicrotolerantes presentes al empezar la primavera; las especies favorecidas por condiciones más calurosas aparecen a fines de primavera y principios de verano. Pero también, se han observado sucesiones estacionales de organismos del plancton en aguas árticas y antárticas, así como en mares tropicales, donde las variaciones en la temperatura no son grandes.

Mientras que la disponibilidad del CO_2 rara vez es limitante del

crecimiento vegetal en el mar en todos los hábitats acuáticos puede haber diferencias en el contenido de oxígeno disuelto debido a un incremento de la temperatura. Esta deficiencia, con su consiguiente efecto sobre la respiración, puede limitar el crecimiento vegetal.

Resumiendo, podemos decir que el efecto de la temperatura sobre los microorganismos presenta dos aspectos: los efectos directos tales como la tolerancia de los microorganismos a la temperatura, o la variación de la solubilidad del oxígeno en el agua y los efectos indirectos, que surgen por los cambios de la temperatura en las masas de agua. De cualquier manera, el efecto de la temperatura sobre la microflora marina sólo puede establecerse cuando todos los factores presentes en el lugar de estudio, son bien conocidos.

5.3 PRESION

La biósfera marina está caracterizada por presiones hidrostáticas que van desde una hasta 1,200 atmósferas aproximadamente. La profundidad promedio del océano está estimada en unos 3,800 m de profundidad, entonces, la presión promedio es de unas 380 atm.

Todos los organismos que viven por debajo de la superficie del océano están sujetos a diferentes grados de presión hidrostática, por lo que la presión hidrostática debe considerarse tan importante como la temperatura y la salinidad, entre los factores que afectan a los sistemas biológicos.

Para fines de investigación se consideran dos rangos de presión hidrostática: Presiones hidrostáticas extremadamente altas (más de 1,000 atm)

y presiones hidrostáticas moderadas (de 1 a 1,000 atm aproximadamente). Las presiones que existen en el medio ambiente marino caen en su mayor parte dentro de la segunda categoría, por lo cual hablaremos de ellas.

La presencia de bacterias vivas en algunas de las partes más profundas del océano fue demostrada en la Expedición Galathea. Se encontró que - muestras de sedimento tomadas del fondo de la Trinchera de las Bermudas, a profundidades de más de 10,000 m contenían de 10^4 a 10^6 bacterias vivas/ml.

Además, se hicieron varios cientos de análisis microbianos en 9 muestras de sedimentos tomadas a profundidades de más de 10,000 m.

La presencia de bacterias en las muestras de sedimentos de las profundidades del mar se demostró por exámenes microscópicos directos, realizados poco después de que las muestras se subieran a bordo del Galathea. El crecimiento y reproducción de las bacterias en medios nutritivos de agua de mar probaron que las bacterias estaban vivas.

Su indigenicidad se estableció mediante tres líneas de evidencia:

1) Se tomaron todas las precauciones posibles para prevenir la contaminación de las muestras.

2) Se encontraron más bacterias en las muestras de sedimento que en las de aguas superiores.

3) Las bacterias de las profundidades del mar son únicas en su habilidad para crecer preferencial o exclusivamente bajo presiones hidrostáticas "in situ" (700 a 1,000 atm) y a bajas temperaturas (2 a 5°C) aun cuando parecen ser más sensibles a la temperatura que a la presión.

ZoBell y Johnson sugirieron el término barófilos para los organis-

mos cuya óptima presión hidrostática es muy elevada, en el rango de 500 a .. 1,000 atm y denominaron barotolerantes a los organismos que también crecen a la presión atmosférica. La mayoría de las bacterias del suelo y el agua dulce no crecen a presiones mayores de 200 atm lo mismo que los hongos y bacterias aisladas de las áreas poco profundas del mar y por esto, son denominados Barofóbicos.

Se ha demostrado que la descompresión repentina no daña a los microorganismos, ya que se trata de una presión hidrostática y no de una presión gaseosa; como la compresibilidad del líquido es muy poca (3% a 1,000 atm) no se ejerce daño sobre los organismos (28). Sin embargo, debemos aceptar como un hecho, que algunas de las formas más delicadas no pueden traerse vivas a la superficie con el equipo usual de muestreo.

Muchos de los efectos de la presión sobre los sistemas biológicos pueden explicarse en términos de cambios de volumen molecular. Los materiales intracelulares están sujetos a un cambio de volumen molecular, dependiendo de la presión, temperatura, medio ambiente iónico y pH. El cambio de volumen molecular es directamente proporcional al cambio de temperatura e inversamente proporcional al cambio de presión hidrostática.

Como ya se mencionó, la presión que existe en el medio marino es una presión moderada (1 a 1,000 atm) y muchas de las reacciones bajo estas presiones son reversibles; a presiones mayores (por arriba del Kilobar o sea de 1,000 atm) muchas reacciones no son reversibles. Los efectos de la presión - hidrostática por arriba del Kilobar han sido estudiados por varios autores. Aunque estas presiones están en general fuera del rango de la biósfera marina, al-

gunos resultados son aplicables a presiones menores. Las bacterias mueren cuando son sometidas a grandes presiones hidrostáticas; los virus al igual que las enzimas son total o parcialmente inactivados.

Entre los diferentes efectos producidos por las grandes presiones están:

1) La dificultad para la formación de pseudópodos en microorganismos como las amibas. Los movimientos citoplásmicos se deben a los cambios de estado sol-gel dentro de la célula; cuando el protoplasma cambia del estado sol al estado gel, el proceso requiere energía y va acompañado por un incremento de volumen molecular. Las grandes presiones favorecen el estado sol y como resultado, bloquean las corrientes citoplásmicas y con ellas la formación de pseudópodos.

2) La alteración de los parámetros no biológicos que afectan a los organismos vivos: a) La presión hidrostática afecta el pH del agua de mar en una relación inversa o sea, que al aumentar la presión hidrostática, disminuye el pH. Empleando electrodos capaces de soportar las altas presiones, se ha encontrado que el pH del agua de mar disminuye linealmente con la presión en 0,3 unidades de pH por cada 100 Kg/cm². b) La presión hidrostática también influye en la ionización del agua y de otros compuestos inorgánicos. Generalmente, la ionización se incrementa al aumentar la presión, afectando también los volúmenes iónicos; ambos hechos deben tomarse en cuenta al tratar con macromoléculas como las presentes en la célula.

3) La pérdida de actividad e incluso la inactivación de enzimas microbianas, por ejemplo algunas de las deshidrogenasas del sistema de los ácidos tri-

carboxílicos, especialmente las deshidrogenasas isocítrica y succínica.

Sin embargo, cabe señalar que la mayoría de las reacciones enzimáticas se han llevado a cabo a temperaturas de entre 20 y 35°C y no a las temperaturas de las profundidades del mar; por otro lado, se ha encontrado que la quitinasa es muy activa a 4°C y bajo fuertes presiones. En términos generales se ha establecido que las enzimas monoméricas son estimuladas por la presión hidrostática y que las enzimas multiméricas son inhibidas por ella.

Bajo grandes presiones, el paso limitante de la velocidad de reacción es la formación del complejo enzima-substrato ya que el proceso por el cual la enzima se "arregla" para aceptar el sustrato y formar el complejo, generalmente involucra un aumento de volumen molecular, opuesto a la presión (28) Por otro lado, la ionización, los cambios en la estructura del solvente, el debilitamiento de los enlaces de hidrógeno y el grado de ionización del sistema amortiguador, son otros medios por los cuales la presión puede influir en la estabilidad de las proteínas y el cambio del volumen molecular.

4) Los cambios morfológicos que presentan algunas bacterias sensibles a presiones muy altas. Serratia marcescens crece óptimamente a la presión atmosférica como bacilo corto móvil, pero a 600 atm crece lentamente, pierde su movilidad y produce filamentos de más de 100 micras de largo con un diámetro normal. Observaciones similares se han hecho con especies de Bacillus y Vibrio y con E. coli. Si el cultivo se somete a la presión atmosférica, la forma y tamaño originales de las células se restauran después de unas horas o días. A partir de esto podemos inferir que las grandes presiones interfieren con el mecanismo normal de reproducción, ya que las bacterias crecen pero no se dividen. Se ha

sugerido que este fenómeno está asociado con cambios en el volúmen de las moléculas de DNA que, a su vez, interfieren con la replicación del mismo, de manera que se detiene la división celular.

El contenido de DNA de la biomasa bajo una presión hidrostática alta, es menor que a presión atmosférica, mientras que el contenido de RNA es mayor y la proporción relativa de proteínas y ácidos nucleicos permanece inmutable.

Sin embargo, las bacterias baroflicas de las profundidades del mar, son capaces de sintetizar DNA aún bajo presiones muy grandes, y así, reproducirse normalmente a grandes profundidades. Las formas móviles son flageladas sólo a grandes presiones, pues pierden sus flagelos a la presión atmosférica.

La tolerancia de los microorganismos a las presiones depende en gran parte de la temperatura ambiental a la cual crecieron. En la determinación de esta tolerancia es importante no hacer crecer a las células a su temperatura óptima (que es de 10 a 20°C mayor que la temperatura del medio ambiente natural de dichas bacterias) ya que si después se les somete a condiciones de temperatura y presión semejantes a las de las profundidades en que habitan, tanto las bajas - temperaturas como las grandes presiones se vuelven aditivas en términos del - cambio de volumen molecular, dando resultados erróneos. La tolerancia a la presión depende también del medio de cultivo empleado y de la salinidad.

Es difícil establecer por qué la aplicación de presión hidrostática a organismos de estructura compleja y altamente organizada provoca su muerte. Algunas de las posibilidades que se han investigado son:

- 1) La inducción de lesiones en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos de

manera que se corta el suministro de energía. Aunque la lesión bioquímica primaria puede estar en las deshidrogenasas, aún no se conoce si la presión afecta el mecanismo de transporte de electrones y de iones hidrógeno.

2) La detención o disminución de las reacciones enzimáticas.

3) La disminución de la síntesis de macromoléculas y

4) La incapacidad para tomar el substrato. Sobre este último punto se ha presentado evidencia de que la ingestión de aminoácidos es inhibida por la presión y las bajas temperaturas, lo que implica una función de membrana alterada. Al aumentar la presión la habilidad de la célula para ingerir aminoácidos disminuye.

Aunque unos cientos de atmósferas de presión pueden no provocar cambios drásticos en el volumen molecular de los componentes celulares y dar por resultado cambios conformacionales, cualquier cambio que afecte a cada una, de las diferentes macromoléculas que hay en las células, puede desbalancear - los procesos metabólicos sincrónicos, de manera que puede ocurrir la muerte de la célula, o al menos, "una detención de su crecimiento y metabolismo".

Por otro lado, el efecto de la presión hidrostática sobre los procesos biológicos de los microorganismos determina, en qué regiones del mar encontrarán estos su núcleo correspondiente, ya sea que vivan sólo en la superficie o sólo en las zonas más profundas, o en ambas.

5.4 TURBIDEZ

La turbidez del agua también afecta la vida de los microorganismos marinos. Es causada por el "seston" que se define como el total de materia viva o muerta, suspendida en el agua y que finalmente conduce a la formación del sedimento.

El seston tiene tres componentes:

- 1) Las pequeñas partículas de materia mineral que se originan en tierra y que son transportadas al agua.
- 2) Los detritus, que son partículas de materia principalmente orgánica y que en general son productos de desecho o de la degradación de los organismos vivos y,
- 3) El plancton, formado por animales y plantas pequeños que flotan en el agua.

Como la distinción entre las partículas pequeñas de material mineral y los detritus es muy difícil, estos dos componentes se denominan "Tripton" algunas veces.

El seston juega un papel importante como sustrato para muchos microorganismos. Las partículas de detritus, en particular, cargan una flora superficial de numerosos hongos y bacterias. En esas partículas, los microorganismos colonizan no sólo los componentes orgánicos que pueden usarse directamente como alimento, sino también las partículas inorgánicas, ya que estas adsorben sobre su superficie nutrimentos que en el agua se encuentran muy diluidos;

en aguas con concentraciones muy bajas de nutrimentos, la mayoría de los microorganismos se encuentran creciendo en la superficie de las partículas en suspensión. Es más, las sustancias inhibidoras o tóxicas son neutralizadas por adsorción en las partículas de desechos. Así, las partículas suspendidas tienen un efecto favorable sobre el crecimiento microbiano, particularmente en lo que se refiere a las bacterias. Además, proveen una cierta protección contra los efectos dañinos de la luz.

Los incrementos o decrementos de la cantidad de detritus no siempre van acompañados por una fluctuación similar del número de bacterias. Un incremento de la turbidez acompañado por una vigorosa alza en la cuenta de bacterias se debe, al menos en parte, a un incremento en la cantidad de materia orgánica suspendida. Si por el otro lado, el número de bacterias cambia poco con los cambios de turbidez, significa que estos son causados, predominantemente por partículas inorgánicas suspendidas. En cuanto a las algas y demás microorganismos fotosintéticos, la turbidez del agua tiene gran importancia como factor que limita la disponibilidad de la luz solar en el medio acuático; así, al aumentar la turbidez, el número de estos microorganismos debe disminuir, pues la luz sólo llega a las partes más superficiales del agua.

Visto en conjunto, la turbidez no tiene un efecto directo en la composición de la microflora oceánica; su efecto es indirecto a través de su influencia sobre los nutrimentos y la luz.

5.5 pH y POTENCIAL REDOX

El crecimiento y reproducción de los microorganismos marinos, como el de todos los microorganismos, está muy afectado por el pH.

El pH óptimo para la mayoría de las bacterias acuáticas cae entre 6.5 y 8.5, valores que corresponden al pH existente en la mayoría de los grandes cuerpos de agua; por ejemplo, la superficie del mar tiene un pH de 8.2 aproximadamente, aunque por supuesto puede variar ligera o notablemente. Como ya hemos mencionado, el pH sufre una ligera disminución con la profundidad, debido al efecto de la presión.

Dado que, en general hay más acidófilos entre los hongos que entre las bacterias, la proporción de hongos en la microflora es mayor en las algas y los sedimentos ácidos que en las zonas con reacción neutra o ligeramente alcalina.

Las desviaciones muy pronunciadas del pH óptimo pueden provocar cambios, no sólo fisiológicos sino también morfológicos; algunos microorganismos tienden a producir formas de evolución en las que las células que normalmente son bacilos se vuelven alargadas y muestran ramificaciones y protuberancias irregulares.

El potencial de óxido-reducción (REDOX) del agua y los sedimentos también tiene una importancia ecológica considerable ya que da la medida de la facilidad que hay para el desprendimiento de los electrones. El potencial redox (Eh) representa la diferencia de potencial entre el medio y un electrodo

de hidrógeno y generalmente se mide en milivolts (mV).

Como regla , los grupos fisiológicamente definidos de microorganismos sólo pueden crecer dentro de ciertos rangos de Eh , por ejemplo, las bacterias aerobias requieren valores de Eh mayores que las anaerobias.

Por otro lado, la actividad de los microorganismos altera el potencial redox en un grado variable; por ejemplo el consumo bacteriano de oxígeno siempre conduce a una reducción del valor del Eh, especialmente cuando se produce H_2S . De manera equivalente, la generación de oxígeno provoca una elevación del valor del Eh.

5.6 SALINIDAD

El grado de salinidad afecta en forma muy notable a la comunidad viviente de las aguas; por ejemplo, las variaciones del contenido total de sal del agua de mar que van desde las aguas salobres de los estuarios hasta las grandes salinidades del mar abierto, representan barreras para la distribución es pacial de los organismos, particularmente del fitoplancton.

La abrumadora mayoría de las bacterias y hongos marinos son halófilos o sea que requieren una cantidad definida de sal para su crecimiento y por esta razón, no pueden desarrollarse en hábitats de agua dulce.

Se ha encontrado que las bacterias marinas se diferencian de las de otros hábitats en dos aspectos: sufren una rápida citólisis cuando se diluyen en soluciones hipotónicas o en agua destilada y requieren del ión Na^+ para desa rollarse.

Las bacterias marinas requieren Na^+ porque es esencial para mantener el equilibrio osmótico y conservar su integridad celular. Sin embargo, algunas evidencias recientemente encontradas muestran que los requerimientos de Na^+ de las bacterias marinas no siempre son reemplazables con otros solutos, como debiera suceder si la anterior hipótesis explicara el fenómeno.

Se ha encontrado que las bacterias marinas requieren de Na^+ para su crecimiento debido a que es esencial para mantener el ambiente osmótico necesario para mantener la integridad celular en una forma equivalente al requerido para su actividad metabólica en la cual se cree que funciona proporcionando al medio intracelular la fuerza iónica necesaria para que funcionen algunas enzimas. Ahora bien, cualquiera que sea la función del sodio en el crecimiento de las bacterias marinas, parece estar relacionado con las actividades de la célula intacta, pues en investigaciones realizadas con extractos libres de células no se encontraron requerimientos de este ión; es más, algunas enzimas sufrían una inhibición de su actividad en presencia de Na^+ .

A partir de estos estudios, se planteó la posibilidad de que el Na^+ sea esencial para el funcionamiento de la membrana de las bacterias marinas (34). Como ya se expuso anteriormente, la mayoría de las bacterias marinas se lisan cuando se colocan en agua destilada o en soluciones hipotónicas de agua de mar. La citólisis se caracteriza por una disminución en la turbidez de la suspensión, por la liberación de material que absorbe luz ultravioleta y por la pérdida de la viabilidad.

La explicación más sencilla es que la citólisis es el resultado de un choque osmótico de las bacterias que evidentemente tienen paredes celulares

más débiles que las bacterias no marinas. Si este fuera el caso, entonces los solutos suspendidos en el medio ambiente en una concentración equiosmolar a la concentración salina interior deberían impedir la lisis y detener la difusión de agua hacia el interior de la célula, pero esto no siempre es cierto.

En general, se ha observado que el Mg^{++} es el mejor agente en la prevención de las lisis, seguido por el Na^{+} y siendo el K^{+} mucho menos efectivo.

Otra explicación sobre la susceptibilidad lítica de las bacterias marinas es que la lisis proviene de una carencia de cationes. Se considera que las sub-unidades de la envoltura celular tienen un gran número de grupos cargados negativamente; estos son los fosfatos libres de los fosfolípidos y los grupos carboxilo terminales asociados a los aminoácidos. Estos grupos cargados negativamente se repelen unos a otros, debilitando la estructura de la cubierta celular, los cationes suspendidos en el medio cubren las cargas negativas libres. Este concepto está basado experimentalmente en la observación de que las cubiertas celulares aisladas de varias cepas requieren de cationes para mantenerse íntegras.

En general, puede concebirse que la lisis de la célula sea causada sólo por el déficit de iones; sin embargo, la combinación de los efectos del déficit de iones sobre la fuerza de la pared celular y el choque osmótico provee, quizá, la hipótesis más atractiva.

Resumiendo, tenemos que el requerimiento obligado de NaCl que tienen las bacterias marinas para crecer no puede atribuirse a una simple necesidad osmótica, la demostración de un requerimiento específico de Na^{+} excluye esta explicación. Sin embargo la velocidad óptima de crecimiento se puede man

tener reemplazando parte del requerimiento de Na por K positivo, lo que indica que pueden mezclarse componentes osmóticamente activos. El requerimiento específico de Na para el transporte de sustratos, demostrado en Pseudomonas sp B-16 puede explicar la razón del requerimiento específico de Na^+ para el crecimiento, si se llega a demostrar en otras bacterias marinas (34).

Por otro lado, la relación del fenómeno de lisis con el requerimiento osmótico de las bacterias marinas no está bien clara, pero obviamente las sales juegan un papel esencial en el mantenimiento de la integridad celular de estos organismos y aparentemente, el Mg^{2+} desempeña el papel más importante en lo que respecta al mantenimiento de las envolturas celulares.

En cuanto a los cambios de salinidad, estos se pueden presentar en el medio ambiente marino y la forma en que afectan a los microorganismos que lo habitan, podemos afirmar lo siguiente: cuando la salinidad se desvía en algunos grados del óptimo, se prolonga el tiempo de generación de todas las bacterias y hongos. A menudo, también pueden observarse cambios morfológicos y fisiológicos. Así, algunas bacterias marinas que son bacilos o vibrios cuando la salinidad es óptima, se vuelven más largos bajo concentraciones de sal de más del 5%, y finalmente se vuelven filamentosos. Otro ejemplo, es el de las bacterias luminosas aisladas del mar de Arabia, las cuales crecen óptimamente a una salinidad del 3% como bacilos ligeramente curvos de 1 a 2 micras de largo; a 1% crecen como cocos y a 7.5% como filamentos de más de 100 micras de largo. Un aumento de la salinidad - como ocurre con un aumento de presión - interfiere con los mecanismos normales de reproducción. Las células pueden crecer pero son incapaces de dividirse.

Los efectos fisiológicos de la concentración salina también son muy diversos. Las bacterias luminosas, en una disolución de agua de mar de más de 50%, pierden su luminiscencia. A una dilución mayor, esta pérdida se vuelve irreversible y finalmente, la célula se lisa. Se cree que este efecto del NaCl se deba a la inhibición de la síntesis de luciferasa.

El rango de salinidad en el que pueden vivir las bacterias es más amplio a su temperatura óptima de crecimiento, pero es más estrecho, en diferentes grados, bajo temperaturas mayores o menores; las temperaturas por arriba de la óptima tienden a provocar un incremento de los requerimientos del NaCl y las temperaturas por debajo de la óptima, los reducen.

En ~~términos~~ ~~g~~nerales, no se ha demostrado que sus requerimientos obligados de salinidad den a las bacterias marinas alguna ventaja selectiva, pero debido a su predominio en el medio ambiente, debemos asumir que esta existe.

Por otro lado, los cambios de salinidad afectan también a los microorganismos pertenecientes al fitoplancton, aun cuando lo hacen en una forma por demás parecida al efecto que ejercen sobre hongos y bacterias.

Algunos organismos del fitoplancton pueden sobrevivir y crecer en las condiciones de salinidad variables de los estuarios. Con algunos representantes del nonoplancton de los estuarios, se pueden medir marcados cambios en el volumen de las células sujetas a bajas salinidades sin daño a las funciones celulares, en tanto que las diatomeas y los dinoflagelados, que no están adaptados para soportar la tensión osmótica, sufrirán daño celular si se somete repentinamente al agua dulce, con distorsión y ruptura celulares.

Estudios en gran escala sobre el fitoplancton marino demuestran

que rara vez se puede separar la salinidad de la temperatura en la definición de las distribuciones espaciales de los microorganismos, como ya se apuntó anteriormente.

5.7 SUBSTANCIAS INORGANICAS

La vida de los microorganismos del agua está afectada por otras sustancias inorgánicas además del NaCl. De particular importancia son los compuestos inorgánicos de nitrógeno y fósforo, los cuales en la zona productiva de muchas aguas representan el factor limitante para la vida vegetal.

En las regiones del mar que son pobres en nutrimentos, el amoníaco, nitritos, nitratos y fosfatos difícilmente pueden demostrarse debido a que tan pronto como son liberados, los absorbe otra vez el fitoplancton. Bajo estas condiciones, puede surgir una competencia por estos nutrientes inorgánicos entre las bacterias y las algas planctónicas.

Sin embargo, en las profundidades del mar, la actividad de los organismos heterotróficos provoca un enriquecimiento de nitratos y fosfatos; consecuentemente, las regiones en las que el agua de las partes profundas, que son ricas en nutrimentos, sube a la superficie muestran una productividad muy alta y un abundante crecimiento de bacterias, hongos y fitoplancton.

Mientras que en la zona fótica de los mares tropicales y subtropicales hay durante todo el año escasez de compuestos de N y de P, en las zonas de climas templados se observan marcadas fluctuaciones estacionales; en general, el contenido de nitratos del agua aumenta a fines de otoño y en inier-

no, y declina dramáticamente en marzo o abril debido al desarrollo del fitoplancton.

El amoníaco y los nitritos desempeñan un papel importante en el suministro de energía para las bacterias nitrificantes y el oxígeno de los nitratos puede ser usado por las numerosas bacterias capaces de realizar la desnitrificación bajo condiciones anaerobias, para la oxidación del material orgánico.

Los nitratos son además, una importante fuente de nitrógeno para el fitoplancton en el mar. Las otras formas combinadas de este elemento (amoníaco, nitritos, compuestos orgánicos) pueden ser utilizados por algunos microorganismos en períodos de escasez de nitratos.

El nitrógeno en solución puede ser usado por aquellas algas verdes de azuladas capaces de fijar el nitrógeno. La utilización de los nitratos por el fitoplancton involucra su inversión final a amoníaco antes de su asimilación dentro del material celular, de manera que parecería más ventajosa la ingestión directa de amoníaco, pero los nitratos son mucho más abundantes en el agua de mar.

El fósforo se encuentra en solución, tanto en forma orgánica como inorgánica; en el mar, los ortofosfatos parecen ser su fuente principal. Las células del fitoplancton son capaces de acumular reservas de fosfato en exceso de sus requerimientos inmediatos cuando el nivel de nutrimentos es alto y utilizar esas reservas durante los períodos de bajas concentraciones de fosfato en el medio natural.

Las formas orgánicas del fósforo también se encuentran en el mar, y pueden servir como fuente de este elemento para el fitoplancton durante los pe

ríodos de escasez.

La disponibilidad de compuestos orgánicos de fósforo en la zona eufótica puede ser de una significancia ecológica apreciable; la utilización de tales compuestos acelerarían los procesos de reciclaje sin necesidad de una remineralización total. Los productos de desecho del zooplancton son otra fuente importante de fósforo reciclado.

Otro elemento importante es el silicio el cual en forma de silicatos solubles es requerido por las diatomeas y silicoflagelados para la silicificación de sus paredes y la construcción de sus esqueletos tubulares respectivamente. Las pruebas señalan que el ortosilicato (SiO_3) es la principal fuente de este elemento y su reciclaje en el mar parece ser un proceso sumamente rápido (3).

Los otros nutrimentos inorgánicos necesarios para la vida microbiana están presentes en la mayoría de los mares en cantidades suficientes. Los elementos traza como fierro y cobalto se necesitan - aunque en muy pequeñas cantidades - como constituyentes o cofactores de importantes enzimas (citocromos y vitamina B_{12}).

Por otro lado, los metales pesados pueden dañar la vida en el mar, ya que son tóxicos para muchos microorganismos, aún a concentraciones relativamente pequeñas. Los iones o complejos orgánicos de los metales pesados, parecen contribuir al efecto bactericida que el agua de mar ejerce sobre los microorganismos no marinos.

•

5.8 SUBSTANCIAS ORGANICAS

Las sustancias orgánicas, disueltas o suspendidas en el agua, son particularmente importantes como alimento para los microorganismos C-heterotróficos. El tamaño y la composición de las poblaciones bacteriana y fúngica del agua depende en gran parte de la concentración y composición de esas sustancias. Sin embargo, los compuestos orgánicos tienen otros papeles como agentes activadores e inhibidores.

Gran parte de la materia orgánica del mar proviene de la descomposición de organismos macro y microscópicos y de los productos de excreción. Mucha materia orgánica soluble es liberada en el agua por células del fitoplancton saludables y activas, en forma de productos extracelulares.

Cuando existe escasez de nutrimentos orgánicos, muchas bacterias no alcanzan su tamaño celular normal y degeneran en diminutas formas de involución cocoide. Estas se producen cuando las células continúan dividiéndose pero no pueden crecer más.

Tomando en cuenta el parámetro del crecimiento, hay dos clases de microorganismos; en una se considera a los que poseen la habilidad para crecer con una concentración muy baja de nutrimentos y por esto están adaptados a las condiciones del mar abierto, mientras que en la otra clase existe una adaptación a las concentraciones altas de nutrimentos que abundan en los sedimentos. Las bacterias que pertenecen a este segundo tipo permanecen inactivas en aguas deficientes en nutrimentos pero, a pesar de eso, pueden sobrevivir ahí.

La composición del material orgánico se refleja en la población microbiana particular. Por ejemplo, en aguas cargadas con aguas fecales ricas en proteínas, predominan las bacterias putrificantes, mientras que en aguas que contienen mucha celulosa florecen hongos y bacterias celulolíticas. Consecuentemente, en el mar u otras aguas, la microflora reacciona muy rápidamente a los cambios en la composición de la materia orgánica.

Los microorganismos acuáticos también pueden ser afectados por los productos metabólicos de plantas y animales presentes. Estos pueden tanto favorecer como inhibir a clases individuales o a grupos enteros de organismos.

Entre estos productos metabólicos son de particular importancia las vitaminas, que no pueden ser sintetizadas por muchas algas (particularmente marinas) o por diferentes hongos y bacterias. Por lo tanto, estas deben ser suministradas por otros organismos, principalmente otras algas, bacterias y hongos (particularmente levaduras). Las vitaminas más importantes son: tiamina (B₁), cianocobalamina (B₁₂), biotina (H). También son de importancia la lactoflavina y los ácidos pantoténico, nicotínico y fólico.

En las aguas interiores y en el mar se han demostrado antibióticos en varias ocasiones. Son secretados principalmente por algas y alcanzan concentraciones efectivas, particularmente en épocas del florecimiento del fitoplancton. Sin embargo, es muy raro que alcancen concentraciones lo suficientemente altas en el agua como para inhibir a hongos y bacterias; es más, pequeñas cantidades de ellos pueden ser desdoblados por ciertos microorganismos y ser usados como alimento. Esto mismo puede suceder aún con los fenoles, siempre y cuando estos se encuentren en concentraciones muy pequeñas.

CAPITULO VI

INFLUENCIA DE LOS FACTORES BIOLOGICOS SOBRE

LOS MICROORGANISMOS MARINOS.

Además de los factores físicos y químicos que afectan a los microorganismos marinos, debemos considerar el efecto de los agentes biológicos. Entre los miembros de la comunidad del mar existen múltiples interrelaciones, dentro de las cuales los organismos pueden ayudarse o inhibirse unos a otros. De gran importancia es la competencia por los nutrimentos, tanto entre los propios microorganismos como entre los microorganismos y otras criaturas vivientes. Por otro lado, los microorganismos sirven de alimento a muchos animales inferiores. Esto significa, que en algunas aguas se presentan frecuentes y amplias fluctuaciones en el número de microorganismos. Algunos microorganismos parásitos pueden atacar a las bacterias, hongos y algas, y destruirlos.

Se conoce aún menos de los factores biológicos que de los nó biológicos, ya que son más difíciles de investigar. Por ejemplo la salinidad, la temperatura y la presión, pueden medirse muy exactamente, mientras que, el número de bacterias que un mejillón consume en un día en su hábitat natural sólo puede estimarse aproximadamente, sin mencionar la competencia por los nutrimentos entre los diferentes organismos que afecta este consumo. Por esto, aunque hay numerosas observaciones que muestran el efecto de los factores biológicos en la microflora marina, las cifras concretas sólo están disponibles excepcionalmente.

6.1 COMPETENCIA POR LOS NUTRIMENTOS

En todos los hábitats, la competencia por los nutrimentos entre los

organismos juega un papel importante e influye decisivamente en la composición de la microflora. Los organismos que logran un mayor éxito son aquellos que, bajo condiciones particulares, son más rápidos en alcanzar los nutrimentos disponibles e ingerirlos. Como regla general, varias clases de organismos pueden vivir del alimento disponible, particularmente si los nutrimentos pueden desdoblarse fácilmente, como el caso de las proteínas y los carbohidratos, y si las condiciones son bastante normales.

Sin embargo, debido a que los microorganismos difieren en sus velocidades de crecimiento, algunos de ellos se multiplican más rápidamente que otros, y por lo tanto, liberan más y más productos metabólicos, los cuales pueden a su vez, inhibir a los competidores e incluso eliminar a algunos de ellos por completo. Esto sucede, por ejemplo, cuando hay cambios significativos en el pH o cuando se producen sustancias antibióticamente activas. Si la acumulación de dichos productos del metabolismo continua durante mucho tiempo, incluso el productor puede ser herido y finalmente sucumbir a la competencia de organismos que muestran una mayor tolerancia hacia estos productos e incluso llegan a alimentarse con ellos.

No todos los organismos que se alimentan con los mismos nutrimentos deben ser necesariamente competidores. Hay ejemplos en los que los nutrimentos sólo pueden ser utilizados por la actividad coordinada de varias clases de organismos.

Bajo condiciones ambientales extremas, la competencia por los nutrimentos juegan un papel secundario; en aguas con temperaturas, salinidades o pH extremos, sólo unas cuantas clases de organismos - a veces sólo una - serán

capaces de utilizar los nutrimentos presentes; bajo tales circunstancias, puede de sarrollarse casi exclusivamente dicho microorganismos.

Efectos similares se observan con sustancias que pueden ser - utilizadas como nutrimentos sólo por unos cuantos especialistas, por ejemplo, la celulosa, la quitina, hidrocarburos, fenoles y otras. En estos casos, la competencia no juega un papel importante, pero puede haber metabiosis con organismos que pueden utilizar los productos de descomposición.

6.2 LOS MICROORGANISMOS COMO ALIMENTO DE OTROS ORGANISMOS

Tanto en el mar como en los otros cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, etc.) numerosas criaturas se alimentan de los microorganismos que se encuentran tanto en el agua como en los sedimentos. Algunos pueden vivir casi completamente de bacterias y hongos, los cuales son alimentos de alto contenido proteínico. Sin embargo, esto sólo es posible en aguas con un contenido de microorganismos suficientemente alto, en particular en los lagos eutróficos, los ríos cargados de aguas negras y en las aguas costeras. En estos cuerpos de agua los microorganismos frecuentemente se vuelven la base de la meiofauna de comedores de bacterias. No obstante, * en grandes áreas del mar abierto, los microorganismos (hongos y bacterias) son tan escasos que difícilmente pueden tener alguna importancia como alimento. En los sedimentos, las condiciones son más favorables que en el agua y las bacterias y los hongos pueden proveer una parte considerable del alimento de la fauna del fondo.

La mayoría de los protozoarios vive, al menos parcialmente, de

bacterias; por ejemplo Euplotes taylori puede mantenerse con una dieta exclusivamente bacteriana, pero crece mejor si se le alimenta con cultivos mixtos en lugar de con cultivos puros. Las bacterias autolizadas o muertas por calor, no le sirven. También se ha demostrado repetidamente que suministrar cierta clase de bacterias da por resultado la muerte de los protozoarios, posiblemente debido a productos tóxicos del metabolismo de dichas bacterias. Es importante señalar que el tamaño y forma de los microorganismos debe permitir su ingestión por otros animales; este proceso puede ser dañado por la formación de agregados o por la producción de mucosidades.

Muchos metazoarios también se alimentan de hongos y bacterias, en particular los animales que se alimentan por filtración como las esponjas, que de esta forma ingieren a las bacterias y las digieren. Los ostiones californianos (Mytilis californicus) y las ostras pueden crecer in vitro con una dieta puramente bacteriana.

Sin embargo, en su hábitat natural los hongos y las bacterias son ingeridos junto con desechos y por esto es muy difícil estimar la proporción de bacterias que hay en la dieta de estos animales en condiciones naturales.

Es normal que los animales que se alimentan de bacterias puedan afectar la microflora acuática en un grado considerable. Cuando dichos animales aparecen por primera vez, el efecto inmediato puede ser un decremento de cierta magnitud en el número bacteriano. Después de varias fluctuaciones puede establecerse un equilibrio. Un crecimiento bacteriano abundante es, como regla general seguido por un correspondiente incremento en el número de comedores de bacterias. Entonces, las bacterias disminuyen hasta que sus depredadores dismi

nuyen también, debido a la falta de alimento; a esto le sigue un renovado incremento del número de bacterias. Este sube y baja de ambas poblaciones puede - repetirse varias veces seguidas en los sistemas acuáticos cerrados (mares interiores, lagos, etc.); además, puede observarse fácilmente en embases llenos con agua de mar que se dejan solos por un tiempo y también en cultivos mixtos de bacterias y protozoarios o de hongos y animales consumidores de hongos.

Incluso entre las plantas, hay algunas que consumen bacterias y hongos, como los curiosos hongos o mohos mucilaginosos del género Labyrinthula que se alimenta de bacterias y levaduras vivas.

Se han hecho análisis de la diatomea Skeletonema costatum y se ha demostrado que su composición de aminoácidos y cantidad de lípidos y carbohidratos, presenta grandes similitudes con la de la materia particulada del mar. Extrapolando esto, vemos que hay poco que escoger en el fitoplancton, en lo que se refiere al potencial alimenticio. Sin embargo, como en todos los alimentos también hay que considerar para su caracter de comestible, su digestibilidad y la facilidad de captura.

Esto viene a consideración por la gran cantidad de microorganismos del zooplancton que se alimentan del fitoplancton. Por ejemplo, aquellos que comen diatomeas, tienen que tratar con caparazones de sílice indigeribles; por otro lado, algunos organismos fitoplanctónicos parecen inaceptables como alimento debido a su producción de antibióticos; los fitoflagelados que están desnudos y son fácilmente digeribles pueden ser demasiado pequeños para ser capturados por el mecanismo de tamizar el agua, que utilizan los organismos zooplanctónicos mayores; y algunos flagelados son tóxicos para los animales

(Gymnodinium).

Sin embargo, las larvas de los invertebrados, prominentes miembros del zooplancton, utilizan a los flagelados microbianos como alimento si están disponibles en cantidades suficientes.

Durante el gran crecimiento primaveral de las diatomeas, ciertas especies son preferidas a otras como alimento; se ha visto que cuando hay una gran proporción de diatomeas (en este caso Ditylum brightwelli) recientemente divididas y aún no separadas, Calanus (un copépodo) se alimenta casi exclusivamente de ellas, pero si la proporción de este tipo de células es menor al 20%, entonces Calanus come sólo células sencillas. Es decir, que hay cierta influencia del tamaño en la comestibilidad de los microorganismos (3).

También se ha observado que los cultivos viejos son menos atractivos; se ha inhibido la alimentación de Daphnia con cultivos viejos de Chlorella. Se cree que esto se debe a la producción del antibiótico clorelina, que como -- otros compuestos de este tipo, se forma en cultivos pasados. Ahora bien, su producción por poblaciones vegetales menguantes puede ejercer una influencia similar sobre el zooplancton en la naturaleza. Los metabolitos inhibidores pueden formar parte de un proceso de "condicionamiento" y también ser responsables de la "exclusión animal" de las áreas ricas en fitoplancton.

En lo que se refiere a las características de los miembros del zooplancton, sus requerimientos alimenticios difieren con su tamaño y longevidad. Por ejemplo, Calanus macho vive periodos menores y come menos que la hembra, la cual muestra una velocidad de producción de huevos cercanamente relacionada con la cantidad de alimento que ingiere. Los animales hambrientos producen po-

cos huevos, de los cuales se alimentan si las células vegetales no son suficientes.

La velocidad de producción de heces es una medida rápida de la alimentación del zooplancton tanto en el laboratorio como en el mar. En una suspensión rica en diatomeas, Calanus se alimentará rápidamente y producirá heces que contengan células vegetales sin digerir o parcialmente digeridas. Este hábito condujo al concepto de "sobrealimentación superflua" o sea, la destrucción inútil de células de algas.

En tales condiciones, Calanus mantiene una velocidad respiratoria y una producción de huevos máximas pues no gasta energía en buscar comida. Los cálculos han colocado la proporción de desperdicio como de dos tercios de la producción de algas, pero la abundancia de comida significa que los animales es tán bien alimentados, a pesar del desperdicio. Algas marcadas con ^{32}P dejaron una cantidad apreciable del isótopo en la pared intestinal de Calanus durante la digestión, incluso cuando pasan rápidamente por él. También se sabe que en la naturaleza las heces, tienen un contenido de fósforo muy bajo, lo que sugiere - una apreciable asimilación durante la digestión. Además, la digestión parcial de las diatomeas incluyendo la ruptura de las paredes de sílice, permite un reciclaje más rápido del silicio. Esta materia orgánica particulada servirá como alimento a los organismos de aguas más profundas. El zooplancton de la zona eufó tica también puede alimentarse de ella cuando es privado de células vegetales.

La alimentación superflua y producción de materia orgánica en épocas de abundancia de fitoplancton bien puede ser un paso esencial para fabricar alimento disponible para los animales bentónicos de aguas más profundas.

Pastoreo:

La relación cuantitativa inversa entre el fitoplancton y el zooplancton en los mares templados es bien conocida. Sus distribuciones en la naturaleza son más o menos regulares durante las explosiones de primavera, pero bajo condiciones adecuadas el incremento en el número del fitoplancton puede exceder con mucho, la velocidad de pastoreo del zooplancton. La magnitud del pico de primavera del fitoplancton ilustra la ausencia inicial de presión por pastoreo; debido a los diferentes requerimientos nutricionales de los estados larvarios hay una cierta demora antes de que esta presión por el pastoreo por los hervíboros exceda la velocidad de incremento de las células vegetales antes de que se agoten los nutrientes básicos. La velocidad de producción de las células vegetales variará con el tiempo; el zooplancton hervívoro será predado por los carnívoros, lo que permite un incremento temporal del fitoplancton. La alimentación superflua permite el reciclaje de los nutrientes minerales de la materia orgánica formada.

Por otro lado, la relación inversa fitoplancton : zooplancton también ha sido interpretada como "exclusión" animal. El metabolismo del fitoplancton condiciona el agua y la hipótesis de la "exclusión" propone que los animales evitan las áreas ricas en fitoplancton debido a algún factor tóxico o desagradable; en la naturaleza es bien conocido que las concentraciones densas de algunas algas son evitadas. Los experimentos demuestran que los animales nadan hacia las manchas densas de algunas algas, pero que los cultivos viejos (el equivalente a las poblaciones decadentes) son evitados. Las "masas" de flagelados tóxicos provocan, indudablemente, exclusión.

La evidencia en peso, tanto de observaciones de laboratorio como

de campo, indica que los efectos del pastoreo son suficientes para reducir el número de células vegetales que resulta de una "explosión" de primavera. Se ha propuesto que la relación entre el incremento de vegetales y animales resulta de una interrelación dinámica de crecimiento, pastoreo y migración. Una mancha densa de fitoplancton se desarrolla bajo condiciones favorables como resultado de un proceso de sembrado, y atrae al zooplancton. Inicialmente el crecimiento vegetal no es afectado por el pastoreo, pero la atracción de más zooplancton ejerce una presión de pastoreo significativa. La salida del fitoplancton deja una mancha creciente de zooplancton con un mar vecino libre de zooplancton en donde el fitoplancton empieza a crecer otra vez.

Sin embargo, por el momento no hay datos de campo suficientes para evaluar la hipótesis de la exclusión.

En cuanto a la relación existente entre el fitoplancton y las bacterias la distribución de estos dos tipos de microorganismos en la columna de agua y la respuesta de ellos a las condiciones ambientales indican que la excreción de materia orgánica por el fitoplancton juega un papel importante en la nutrición de las bacterias; el ácido glicólico que es el principal producto de excreción del fitoplancton, aparentemente sirve como la fuente principal de carbono y energía para las bacterias del agua.

De hecho, se ha visto que la población máxima de bacterias se encuentra a una profundidad aproximada de 3 a 7 metros y que resulta del abundante suministro de materia orgánica soluble, especialmente el ácido glicólico excretado por el fitoplancton.

Es una idea general que en las zonas eufóticas de las aguas oligo-

tróficas , la excreción de materia orgánica por el fitoplancton juega un papel trófico en la producción de bacterias. Estudios hechos sobre la cinética de la ingestión bacteriana de glicolato en aguas superficiales revelaron que la magnitud de ingestión es similar a la producción de este compuesto (43).

5.3 CRECIMIENTO DE LOS MICROORGANISMOS EN SUPERFICIES

* Muchas de las bacterias y hongos viven temporal o permanentemente en la superficie de plantas y animales, usándolos únicamente como soporte físico y produciendo sobre ellos una capa de crecimiento.

Desde las algas unicelulares hasta los peces y mamíferos acuáticos, gran variedad de criaturas pueden servir como substrato físico para los microorganismos, pero aparentemente hay algunos que por producir substancias antibióticamente activas nunca son colonizadas por microorganismos. Por ejemplo, rara vez se encuentra crecimiento bacteriano sobre las Cianophicophitas o sobre las diatomeas y en cambio, se encuentran copiosas colonizaciones sobre otras algas planctónicas. Las bacterias se encuentran en gran número sobre las cápsulas mucilaginosas de las algas, donde los bacilos se colocan en ángulo recto con la pared celular, aparentemente, la cápsula les sirve como nutrimento.

Si tratamos de establecer una conclusión a partir de las muy numerosas y, en parte contradictorias, referencias sobre el crecimiento de hongos y bacterias sobre las algas planctónicas, llegaremos al siguiente cuadro: Las algas en crecimiento vigoroso generalmente están libres de crecimiento bacteriano sobre su superficie; cuando está forjándose la explosión del fitoplancton, es difícil encon-

trar en él a las bacterias. Por otro lado, las poblaciones de algas que están estancadas o en declive son cada vez más colonizadas por bacterias. En ellas, las partes más jóvenes - la parte apical - están libres de bacterias, mientras que las más viejas - las partes basales de la misma planta - muestran en su superficie, crecimiento de hongos y bacterias, el cual se incrementa con la distancia al ápice. A veces, este crecimiento es tan denso en algunas plantas acuáticas que puede ser pastado por protozoarios y otros organismos y servir como la parte principal de su dieta.

La ausencia de bacterias en las algas jóvenes y en crecimiento vigoroso (partes de algas) puede, en cierto grado, deberse a sustancias bacteriostáticas o bactericidas liberadas por estas plantas, pero a menudo las bacterias son repelidas por la reacción ácida de la superficie del alga. Así, un pH de 8 en el agua de mar puede bajar a 5 en la superficie del alga; y la bacteria que viene de un medio ligeramente alcalino (generalmente su óptimo), al entrar a uno ácido tenderá a dejarlo al momento.

La superficie de muchos animales inferiores también es colonizada por hongos y bacterias como ocurre con ciertas clases de copépodos y algunos crustáceos y gusanos.

Las bacterias también se encuentran en la superficie de los peces óseos. Se han encontrado bacilos gram negativos no esporulados sobre vertebrados (19 especies) e invertebrados (14 especies) en el océano Pacífico. Sólo había pequeñas diferencias taxonómicas entre las poblaciones bacterianas de vertebrados e invertebrados. En todos los animales, especies de Pseudomonas y Achromobacter fueron los más numerosos. Se encontraron Micrococcus y Flavobacterium en una pro

porción ligeramente mayor en la superficie de los invertebrados sésiles que en la de los vertebrados de la misma región oceánica.

El número de micrococos y enterobacterias no fecales sobre los animales de las partes tropicales del Pacífico es mayor que en las del Pacífico del norte. También se han encontrado diferencias en lo que respecta a sus actividades fisiológicas y bioquímicas. Así, en los trópicos predominan las bacterias mesofílicas y proteolíticas, mientras que en las regiones más frías predominan los organismos psicrófilos y los que desdoblan carbohidratos. Además, en conjunto, las bacterias que colonizan a los vertebrados muestran mayor actividad bioquímica que las encontradas en los invertebrados.

La mayoría de los microorganismos que viven sobre la superficie de plantas y animales encuentran su alimento ahí. Por ejemplo, las algas liberan sustancias orgánicas disueltas como son aminoácidos, azúcares y ácidos orgánicos; muchas están rodeadas por cubiertas mucilaginosas que generalmente son ésteres del ácido sulfúrico con polisacáridos. Los animales excretan sustancias y se quitan por frotación trozos de tejido que sirven como nutrimentos a la flora microbiana de su superficie. Sin embargo, algunas bacterias y hongos, usan a las plantas y animales sólo como soportes físicos y obtienen sus alimentos del agua como es el caso de las bacterias filamentosas y probablemente también de Caulobacter e Hyphomicrobium.

6.4 MICROORGANISMOS MARINOS COMO PARASITOS

X Numerosos hongos y bacterias viven como parásitos en una gran va-

riedad de plantas y animales acuáticos y pueden provocar enfermedades que pueden conducir a la muerte a los organismos afectados. Los microorganismos patógenos ma ri nos son particularmente importantes en aguas someras, especialmente en los luga res en que tanto plantas como animales se encuentran en grandes números dentro de un área restringida, como ocurre en las explosiones de plancton, en los bancos de ostiones, en los cardúmenes, etc. En estos casos de amontonamiento de una especie en particular se han observado epidemias que conducen a una completa destrucción de los grandes "sembradíos" de plantas o "colonias" de animales. Los organismos que viven solos, son mucho menos propensos al ataque de bacterias y hongos patógenos, ya que las oportunidades de infección son mucho menores.

En el mar abierto, las condiciones para el crecimiento de los micro organismos que provocan infecciones agudas en los animales acuáticos son desfavorables, ya que tan pronto como un pez muestra cualquier síntoma de enfermedad es, como regla general, devorado rápidamente por peces o aves predadoras. En dichas aguas nutritivamente pobres sólo los animales perfectamente sanos pueden es ca p a r de los predadores ubícuos. Aun los animales enfermos de los cardúmenes - pronto caen presa de los predadores vecinos. Es por esto que en alta mar los patógenos tienen poca oportunidad de infectar a otros animales. Esta es la razón por la cual en las grandes extensiones y profundidades del mar abierto las bacterias no parecen jugar un papel importante como patógenos de plantas y animales, como ocu rre en las zonas de poca profundidad y que están cerradas como ocurre en bahías, fiordos, lagunas costeras, etc.

Algunas Pseudomonas parecen ser tóxicas para ciertos organismos bajo condiciones definidas, pero de otro modo permanecen como saprófitas o pará-

sitos benignos. Entre los diferentes reportes que existen sobre enfermedades causadas por bacterias, destacan los referentes a organismos marinos de importancia económica como algas pluricelulares, ostiones, cangrejos y cualquier pez útil.

Por otro lado, se conoce muy poco acerca de enfermedades bacterianas en algas uni o pluricelulares. Es probable que la producción de antibióticos por las algas y esponjas sea lo que limita el número de bacterias patógenas hacia estos organismos.

Hay sólo algunos reportes aislados sobre bacterias patógenas en animales inferiores y en ellos se han encontrado frecuentemente espirilos y espiroquetas, presumiblemente parásitos del tracto digestivo de los ostiones. Se cree que las bacterias han sido responsables de la muerte de bancos de ostiones completos en las costas europeas, pero se carece de pruebas definitivas. Los bancos de langosta de la costa occidental de Norte América sufren grandes pérdidas debido a la "enfermedad del caparazón blando", que parece ser causada por bacterias quitinolíticas. Otra enfermedad infecciosa de la langosta americana es provocada por Gaffkya hormani.

Además, se conoce toda una serie de enfermedades microbianas que afectan a peces económicamente útiles. Por ejemplo, una enfermedad de anguilas y lucios provocada por Vibrio anguillarum; este patógeno es una bacteria de aguas salobres que se encuentra en el mar Báltico y en las áreas costeras del mar del Norte y a menudo provoca grandes pérdidas entre las anguilas, particularmente en los veranos cálidos. La tuberculosis en los peces es relativamente común; sin embargo, sólo los animales débiles y afectados son infectados por este parásito. No-cardia y algunas espiroquetas también pueden infectar a los peces y probablen-

te también algunas rickettsias que son parásitos intracelulares obligados.

Por otra parte, el número de parásitos entre los hongos es aún mayor que entre las bacterias. Muchas algas uni y multicelulares son atacadas por ficomicetos que viven en la superficie de sus huéspedes (epibiontes) y sólo introducen pequeños rizoides en las células para alimentarse, o crecen por completo dentro de las células huésped (endobiontes). Algunos hongos inferiores, por ejemplo Polyphagus euglenae, crecen entre varias algas individuales (interbiontes) y las mantienen juntas por medio de sus rizoides. Existen parásitos obligados y facultativos y la infección se lleva a cabo por medio de zoosporas móviles. Generalmente sólo son infectadas algas individuales, pero se han observado ocasionalmente la presencia de masas de hongos parásitos en las explosiones planctónicas.

Diferentes especies del moho del fango Labyrinthula viven como parásitos de las algas superiores. Se ha encontrado a Labyrinthula coenocystis en las matas de Cladophora incolora y se considera que el mixomiceto es la causa de la destrucción de los cloroplastos de esta alga.

Numerosos hongos inferiores parasitan a invertebrados y sus huevos y larvas, pero estas infecciones rara vez se presentan en forma epidémica. No obstante, varios ficomicetos han sido reconocidos como la causa de peligrosas enfermedades en moluscos y cangrejos de importancia económica.

Probablemente, las levaduras también jueguen un cierto papel como patógenos de diferentes invertebrados marinos, y algunos ascomicetos superiores y "Fungi Imperfecti" son parásitos de animales inferiores.

6.5 MICROORGANISMOS MARINOS COMO SIMBIOTES

La simbiosis puede definirse como la relación entre dos o más organismos que viven estrechamente asociados, para beneficio mutuo. Esto no significa necesariamente que cada uno de los dos obtiene igual beneficio de la asociación, pero sí requiere que ninguno cause daño al otro ni directa ni indirectamente. A menudo, la línea divisoria entre la simbiosis, el comensalismo y el parasitismo es muy tenue, y un simbiote, particularmente las bacterias simbiotes, puede volverse parásito por un pequeño cambio en el medio ambiente.

Los beneficios para los socios de las simbiosis generalmente son nutricionales, pero uno de los asociados puede proveer al otro de transporte, por ejemplo, las algas asociadas a ciliados, o de protección como es el caso de algas dentro de hidras, las cuales las protegen con sus nematocitos.

Simbiosis Bacterianas.

Uno de los casos más notables de estas simbiosis, es el de ciertos peces con las bacterias luminosas Pseudomonas y Photobacterium. En estos casos, las bacterias viven en ciertas glándulas del pez de donde obtienen sus nutrientes mientras proveen de luz al pez; este la usa de diferentes maneras: para atraer a sus presas, para aparearse, para permanecer junto a sus congéneres, etc.

Las asociaciones simbióticas entre las bacterias y otros organismos marinos no están bien documentadas y no hay ningún registro sobre algo que corres

ponda a la asociación de Rhizobium, en lo que se refiere a la forma de establecerse en el huésped y al aporte de nitrógeno por medio de la fijación realizada por la bacteria. Las bacterias se encuentran en los espacios intracelulares de algas como Penicillium y otras Sifonales, y son activas en la precipitación de carbonato de calcio, aunque no se ha determinado si están ahí en forma adventicia o si tienen una asociación simbiótica con la planta. La dependencia que tienen muchas microalgas marinas de la vitamina B₁₂ producida por bacterias y otras algas es bien conocida pero, como no hay una relación espacial definida entre bacterias y algas, difícilmente puede llamarse simbiosis; más bien es un caso de metabiosis.

Se ha sugerido que las bacterias en el intestino de ciertos anfípodos y otros crustáceos alteran la naturaleza de los compuestos de fósforo indigeribles de manera que estos nuevos compuestos formados están disponibles para los mismos u otros miembros del zooplancton que reingieren las heces de estos.

Simbiosis de Algas

La mayoría de los animales que habitan los arrecifes de los trópicos tienen algas simbiotes así como la mayoría de los animales marinos invertebrados de esas mismas zonas. También hay algunas algas en simbiosis con otras algas y estas asociaciones también están confinadas a aguas tropicales y subtropicales. Cuantitativamente puede suponerse que las algas simbiotes sean más importantes que el fitoplancton y las algas bénticas en los arrecifes de coral y en otras aguas poco profundas con sedimentos calcáreos, y que la productividad de estas aguas se deba esencialmente a estos simbiotes que se conocen más generalmente como --

Zooxanthellae.

Las algas simbiotes se conocen como Cyanellae si pertenecen a las Cyanophycophytas, como Zooclorellae si pertenecen a las Chlorophycophytas y como Zooxanthellae si son de color amarillo y por lo tanto pertenecen a las Dinophycophytas. Casi todos los simbiotes marinos son Zooxanthellae, de manera que el término se ha hecho genérico para las algas simbiotes marinas.

* En las simbiosis entre algas como Richelia y la diatomea Rhizosolenia, el alga verde azul Richelia parece ganar protección física al vivir dentro de la concha de sílice de la diatomea, y esta frecuentemente pierde mucha o toda su clorofila de manera que se supone que el alga verde azul realiza la mayor parte de la fotosíntesis. * Sin embargo, Richelia es miembro de la Nostocaceae y esta familia tiene la habilidad de fijar el nitrógeno atmosférico o disuelto, lo cual también tiene que ver con la simbiosis.

Zooxanthellae.

En las relaciones alga-animal hay diferencias fisiológicas básicas: uno de los asociados es total o parcialmente fotótrofo mientras que el otro es heterótrofo. Las algas asociadas con Zooxanthellae son casi exclusivamente dinoflagelados, los cuales en estado de vida libre son generalmente fagotróficos facultativos, aunque las cepas de Miami de Gymnodinium simplex que es de vida libre, no pueden crecer en la oscuridad.

Se sabe que muchas especies de dinoflagelados requieren vitamina B₁₂ y posiblemente otros factores de crecimiento; muy bien pueden obtener estas sustancias de su asociación con los animales, la mayoría de los cuales pueden ingerir bacterias que a su vez proveen de cianocobalamina a la mayoría de las al-

gas marinas auxotróficas. En reciprocidad, se ha asumido y en algunos casos probado, que las algas pasan material orgánico a los animales aunque probablemente estos no sean capaces de asimilar todo ese material.

También se ha asumido que los animales utilizan el oxígeno producido por las algas en la fotosíntesis, pero aún no se sabe si este oxígeno es indispensable para la respiración de los animales. Se ha sugerido que el oxígeno producido por la fotosíntesis del fitoplancton debe ser suficiente para los animales, - sin tomar en cuenta el oxígeno producido por Zooxanthellae. Sin embargo, las simbiosis más activas se llevan a cabo en los arrecifes de coral tropicales, zonas que poseen características especiales: tienen un contenido de carbonato y bicarbonato de calcio muy alto en el agua; ocurre una precipitación continua de carbonato de calcio (lo que sustrae CO_2 del agua); y los nutrientes son escasos, debido posiblemente a una coprecipitación de nitratos y fosfatos junto con los carbonatos. En tales casos (por ejemplo, en el Estrecho de Florida) el fitoplancton es poco numeroso y posiblemente insignificante en la oxigenación del agua, de manera que Zooxanthellae puede ser necesaria para la respiración de los animales del arrecife, ya que estas algas pueden aprovechar el CO_2 producido por la respiración de los animales para realizar la fotosíntesis, supliendo así la falta de este compuesto debida a la precipitación de los carbonatos. Así mismo, los compuestos de nitrógeno, en su mayoría orgánicos, los asimilan directamente de los animales, afrontando así la escasez de nutrimentos.

Los mecanismos de la simbiosis planta-animal difieren de un grupo de organismos a otro. En algunos casos, cada generación del animal no contiene el alga después de la división, y deben ser reinfectados, a menudo por fagocito-

sis, y el grado de infección depende de la abundancia de algas de vida libre en ese momento.

Algunas especies animales que son carnívoras obtienen sus algas después de digerir animales que previamente las contenían. En muchos protozoarios, las algas se dividen entre las dos células hijas en la división, manteniéndose así una continuidad en la relación.

En la mayoría de los celenterados, los huevos no fertilizados contienen algas y así la continuidad de la asociación también está asegurada.

Es interesante señalar que las simbiosis planta-animal del mundo marino son mucho más comunes en aguas cálidas que en aguas frías; se ha sugerido que esto se debe a la mayor velocidad del metabolismo en las aguas templadas, lo que requiere una remoción más rápida de los productos de desecho, de modo que los simbioses se asisten mutuamente en esta labor.

Además de las algas simbioses con animales y otras plantas existen ciertas simbiosis entre algas y hongos que más o menos se parecen a los líquenes.

Estas incluyen:

Blodgettia confervoides

con el hongo Blodgettomyces y el alga Cladophora

con el hongo Mycosphaerella y el alga Pelvetia

con el hongo Mycosphaerella y el alga Ascophyllum

con el hongo Guignardia y el alga Prasiola

con el hongo Guignardia , y el alga Ulva.

CAPITULO VII

EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS MARINOS EN LOS CICLOS DE LOS ELEMENTOS EN EL AGUA.

7.1 INTRODUCCION

* Los hongos y las bacterias desempeñan un papel fundamental en los ciclos de la materia en el agua. Su participación en la producción primaria de sustancias orgánicas es pequeña, pero la remineralizan en gran escala, ya que bajo las condiciones apropiadas, son capaces de transformar en sus componentes inorgánicos como dióxido de carbono, agua y sales, virtualmente a todos los compuestos orgánicos naturales. *

Antiguamente, se aceptaba que la remineralización de las substancias orgánicas en el agua - como en el suelo - se debía esencialmente a la actividad de hongos y bacterias, mientras que los animales sólo tenían un papel secundario. Ahora sabemos que el zooplancton en particular es muy importante y - que las algas incoloras también están involucradas en la remineralización. Además de ello, hay que considerar la autólisis de los organismos como contribución a este proceso.

Sin embargo, vista como un todo, la participación de hongos y bacterias en la remineralización es probablemente mayor que la de todas las otras - criaturas y los procesos autolíticos juntos.

* Muchas sustancias, por ejemplo celulosa, lignina, agar y quitina pueden ser atacadas casi exclusivamente por bacterias o con su cooperación. Lo mismo ocurre con hidrocarburos, fenoles, etc. Sin embargo, la importancia de los microorganismos en el ciclo de la materia en el agua no termina con la descomposición parcial o total de sustancias orgánicas; también producen cambios en

los compuestos inorgánicos, por ejemplo, la fijación del nitrógeno libre, la nitrificación y desnitrificación, la oxidación y reducción del azufre, etc.

El contenido de oxígeno del agua también se ve afectado por la actividad de las bacterias y hongos. La descomposición microbiana involucra procesos de oxidación que ocasionan un importante consumo de oxígeno y que, bajo condiciones desfavorables, puede llevar a la completa desaparición del mismo. *

7.2 PRODUCCION DE MATERIA ORGANICA

La producción de sustancias orgánicas en el agua se debe principalmente a las algas y, en particular, a las pequeñas formas microscópicas del fitoplancton. Las plantas superiores son importantes sólo en la región de los bancos (aguas poco profundas).

Estas sustancias orgánicas estimulan, alimentan e inhiben a otros organismos e incluso regulan el crecimiento de los organismos que las producen.

Hay evidencia de que estas sustancias son producidas en varias formas: como productos de degradación y por hidrólisis del material capsular pero, definitivamente también son producidas por células sanas; esta última forma puede significar del 5 al 60% del total de materia orgánica sintetizada en el océano.

Los productos extracelulares pueden sostener el crecimiento del fitoplancton bajo condiciones desfavorables de luz y por esto, pueden clasificarse como productos extracelulares de reserva.

Entre las sustancias producidas por los microorganismos, Fogg enlista las siguientes:

a) Los ácidos l-láctico, succínico, pirúvico y acético, mediante procesos de fermentación.

b) Los organismos autótrofos pueden producir ácidos oxálico, tartárico, succínico, glicólico, pirúvico y ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos y péptidos.

c) De los materiales capsulares, las plantas excretan carbohidratos, polisacáridos, pentosas y pentosanas, glucosa, xilosa, ácido glucurónico, galactosa, ramnosa, arabinosa y manosa.

d) Los carotenoides, complejos proteína-carotenoide y sulfuros orgánicos como el sulfuro de dimetilo, que se derivan de las macro y microalgas.

e) Entre las vitaminas y factores de crecimiento están la tiamina y las auxinas.

f) Antibióticos incluyendo ácidos grasos, cloroflidos y ácidos acrílicos.

g) Toxinas, producidas por algunas especies, como son ciertos Goniaulax y algunos Gymnodinium que son probablemente alcaloides o péptidos cíclicos (19).

Por otro lado, se ha encontrado que Anabaena cylindrica produce polipéptidos diferentes de los de las bacterias, que pueden reducir la toxicidad de la polimixina B producida por Bacillus polymixa. También se ha demostrado la presencia de enzimas como son fosfatasas, amilasas y sacarasas; y se ha demostrado la liberación de ureasa por Corynebacteria y de sistemas enzimáticos reductores del sulfato por Desulfovibrio (54).

Una alta proporción del nitrógeno fijado por las algas verde azules planctónicas es liberado en forma de compuestos orgánicos. Además, como ya mencioné, ciertos productos extracelulares tienen marcados efectos tóxicos so-

bre otros organismos. El espectacular fenómeno de las mareas rojas está asociado a tales efectos. Estos fenómenos son principalmente "explosiones" de dinoflagelados tóxicos, y pueden colorear el mar de rojo, rosa, café, amarillo o verde. Ciertos dinoflagelados han sido descritos como agentes causales (Gonyaulax catenella, G. tamarensis y Gymnodinium brevis). La muerte masiva de peces, la contaminación de los crustáceos con la consecuente muerte de las aves marinas y pérdida general de la amenidad en los centros de vacaciones son algunos de los resultados de este fenómeno. El consumo de los crustáceos contaminados por el hombre, puede conducir a vómitos, parálisis de los músculos faciales y de las extremidades, y muerte por falla respiratoria (3).

Por otro lado, el grueso de bacterias y hongos son organismos heterótrofos y por lo tanto no están involucrados en la producción de materia orgánica. Sólo el pequeño grupo de las bacterias foto y quimioautotróficas puede ser clasificado como productor primario pero, hasta donde sabemos, su participación en esta producción debe ser muy pequeña, ya que ambos tipos de bacterias pueden enriquecerse bajo condiciones muy especiales que difícilmente se presentan en el mar. Así, todas las bacterias fotosintéticas son incapaces de penetrar en el agua, y como anaerobios obligados o microaerófilos no pueden crecer en aguas ricas en oxígeno. Además, requieren suficiente luz y adecuados donadores de hidrógeno: ácido sulfhídrico para las clorobacterias y las bacterias púrpuras del azufre y ácidos orgánicos u otros compuestos orgánicos para los otros pocos microorganismos fotosintéticos. Todos estos requerimientos no coinciden con frecuencia en el océano, aunque suelen presentarse en las regiones costeras, donde se produce un crecimiento masivo de bacterias fotosintéticas, acompañado por la producción de can-

tidades considerables de sustancias orgánicas.

Tampoco las bacterias quimioautotróficas parecen tener gran importancia en la producción de material orgánico en el agua. Si bien es cierto que tienen una distribución más amplia; por ejemplo, las bacterias nitrificantes se encuentran en casi todas las aguas aerobias y la mayoría de ellas son capaces de llevar a cabo la nitrificación y por lo tanto síntesis de materia orgánica, pero casi en todos los lugares son poco numerosas de manera que sólo producen pequeñas cantidades de materia orgánica. Incluso bajo condiciones favorables, su desempeño es bastante limitado debido a la baja eficiencia de la reacción, la cual, por ejemplo, en Nitrobacter winogradskyi es sólo de 10 a 11%.

Otras bacterias quimioautotróficas se encuentran ampliamente distribuidas, pero en grandes números, sólo en algunas regiones acuáticas. Relativamente más frecuentes son las bacterias oxidantes del azufre, particularmente los miembros del género Thiobacillus. Ocasionalmente, estas bacterias se acumulan donde hay aguas que contienen oxígeno y H_2S juntos; esto es, otra vez, en hábitats muy limitados. Las bacterias autotróficas del hierro y el manganeso también se desarrollan masivamente sólo en algunas zonas; es más, la oxidación de los compuestos ferrosos y manganesos a férricos y mangánicos está asociada con sólo una ganancia pequeña de energía, lo que implica, otra vez, que aún en condiciones óptimas, la producción de materia orgánica es muy pequeña.

Sin embargo, no sabemos hasta que grado las bacterias quimioautotróficas son activas en la zona afótica la cual, después de todo, constituye el mayor espacio de todos los hábitats biológicos posibles.

No se debe pasar por alto que las fuentes de energía para las bac-

terias quimioautotróficas se originan principalmente durante la remineralización de las sustancias orgánicas (NH_3 , NO_2 , H_2S , H_2 , CH_4). Por esto, la quimio-síntesis en el agua es llevada a cabo casi exclusivamente por las plantas verdes.

La producción secundaria por las bacterias y hongos C-heterotróficos puede, sin embargo, ser considerable, pues casi de un 20 a un 40% de los nutrientes orgánicos se usan para la biosíntesis de sustancias bacterianas, mientras que del 60 al 80% están involucrados en el metabolismo energético. Multiplicar la biomasa de las bacterias presentes en el cuerpo de agua por el número de generaciones nos permite calcular la producción anual de carbono orgánico de las bacterias. El tiempo de generación de las bacterias acuáticas varía - dependiendo de la clase de microorganismo, la temperatura, concentración de nutrientes y otros factores - entre 20 minutos y muchos días. En las aguas eutróficas más calientes es probablemente de un promedio de unas horas; en las aguas interiores oligotróficas frías y en grandes partes del mar abierto puede ser de varios días. ZoBell calculó, en base a 1,000 bacterias por mililitro de agua y un tiempo de generación de 24 horas, una producción anual de 7.3 mg de carbono por metro cúbico de agua de mar.

7.3 DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA

Las bacterias heterotróficas y los hongos necesitan materia orgánica como alimento y construyen a partir de esta los precursores para la síntesis de su sustancia celular y la obtención de la energía para sus procesos vitales. La materia orgánica es convertida por los microorganismos en compuestos con una reg

serva de energía menor y finalmente, bajo condiciones apropiadas, en las substancias inorgánicas originales. La remineralización de la materia orgánica es la principal función de las bacterias y hongos en la renovación de la materia en el agua.

Como regla general, la mineralización completa sólo se logra en presencia de oxígeno, esto es, en aguas aerobias; bajo condiciones anaerobias el rompimiento a menudo queda incompleto. La velocidad de descomposición de las sustancias orgánicas varía de acuerdo a sus constituyentes y a las condiciones ambientales. Como regla general, las proteínas son desdobladas primero, luego los azúcares, almidón, grasas, y finalmente los compuestos de alto peso molecular, como la quitina, celulosa y lignina.

Ahora bien, la descomposición de la materia orgánica por las bacterias en el mar es un proceso que no está confinado a cualquier proceso microbiano o a cualquier producto catabólico definido y muchas veces no llega a la degradación total de dicha materia orgánica. Se cree que, en lugar de tender a usar esta materia en su propio metabolismo, son otros organismos los que usan a las bacterias y los detritus como alimento, completando así el ciclo de descomposición de materia en los océanos.

Las bacterias putrificantes son particularmente numerosas en el agua y pueden usar a las proteínas como alimento. Muchos miembros de las Pseudomonadales y Eubacteriales, y también diversos hongos, pueden llevar a cabo - proteólisis. En el hábitat marino su proporción dentro de toda la microflora es probablemente mucho mayor que en aguas interiores. ZoBell y Upham (1944) encontraron que de 60 cepas de bacterias marinas todas podían liberar amoníaco de la pептона y 47 podían licuar la gelatina. Los microbios putrificantes hidrolizan primero

las proteínas por medio de exoenzimas proteolíticas. Los polipéptidos y oligopéptidos ingeridos por las células son entonces degradados hasta aminoácidos por medio de peptidasas. Luego, los aminoácidos son usados para la síntesis del material celular o desaminados con la liberación de amoníaco. Por ello, a este proceso se le llama Amonificación. En un ambiente anaerobio, los aminoácidos pueden ser descarboxilados con la liberación de aminas primarias y dióxido de carbono. Luego, el esqueleto carbonado es desdoblado de diferentes maneras, dependiendo de su estructura y del microorganismo involucrado.

Muchas bacterias de los órdenes Pseudomonadales y Eubacteriales y también de los Actinomicetales y numerosos hongos son capaces de desdoblar azúcares simples. En un ambiente aerobio, las hexosas son primero desdobladas hasta compuestos tricarbonados; estos se convierten en ácido pirúvico y después de la descarboxilación son finalmente oxidados a CO_2 vía Ciclo de Krebs.

A menudo, en un medio ambiente anaerobio sólo es posible la fermentación; de acuerdo a las condiciones, pueden producirse alcoholes, ácidos orgánicos (por ejemplo láctico, butírico, propiónico, acético o fórmico), hidrógeno y dióxido de carbono.

Algunos disacáridos que están ampliamente presentes en el mar como son sacarosa, lactosa y maltosa pueden, a diferencia de los azúcares simples, ser descompuestos sólo por unas cuantas especies bacterianas.

El almidón, una importante sustancia de reserva de muchas plantas, se encuentra principalmente en las aguas interiores, pero también está presente en el hábitat marino. Numerosas bacterias y hongos son capaces de hidrolizar el almidón por medio de exoenzimas (amilasas). El producto resultante es

el disacárido maltosa, que es luego hidrolizado a glucosa por la enzima maltasa. En aguas aerobias, el rompimiento del almidón se realiza rápidamente, principalmente debido a Pseudomonas, diversas especies de Bacillus, actinomicetos y hongos superiores. En los sedimentos anaerobios, el almidón es descompuesto principalmente por diversas especies de Clostridium.

La celulosa, la substancia de que está formado el esqueleto de la mayoría de las plantas, juega un papel importante en el mar. Los organismos que descomponen la celulosa son muy importantes en el agua. En un medio ambiente aerobio, la celulosa es descompuesta principalmente por myxobacterias y hongos superiores (Ascomycetes, Fungi Imperfecti, etc.). Entre las bacterias, especies de Cytophaga y Sporocytophaga son predominantemente activas en la descomposición de la celulosa.

La celulosa es hidrolizada por exoenzimas (depolimerasas); algunos organismos son capaces, por medio de celulasas, de descomponerla hasta el disacárido celobiosa o incluso hasta glucosa.

Los xilanos (hemicelulosas) están presentes en muchas plantas y tienen el doble papel de proveer fuerza mecánica y de ser reserva alimenticia; se encuentran en la mayoría de las aguas y pueden ser atacados por una gran variedad de microorganismos, tanto bacterias como hongos.

Las pectinas (poligalacturónidos) son también descompuestas por numerosas bacterias, que primero las rompen por medio de una propectinasa y luego las desdoblan con pectinasas (pectin-metil-estearasas). Los productos de descomposición son ácido péctico y metanol. La cantidad de pectinas presentes en el mar no es importante.

El agar es un producto de numerosas algas, siendo las más importantes productoras las algas rojas marinas de los géneros Acanthopeltis, Ahnfeltia, Ceramium, Gelidium, Gracilaria y Pterocladia. Se encuentran en grandes masas en muchas regiones del mar y son la base de la producción comercial de agar. Como es de esperarse, numerosas bacterias que se encuentran en las mismas regiones pueden desdoblar el agar por medio de una enzima específica (agarasa); son predominantemente, miembros de los géneros Pseudomonas, Vibrio, Achromobacter, Flavobacterium, Agarobacterium, Bacillus y Cytophaga. Estas bacterias se encuentran principalmente como crecimiento de superficie sobre una gran variedad de algas y pueden ser identificadas y aisladas fácilmente haciendo cultivos de impresión sobre medios de agar, en los cuales las colonias de los microorganismos agarolíticos se hunden en el medio y forman pequeños cráteres en las placas. En los sedimentos que contienen restos de algas, las bacterias que descomponen el agar pueden acumularse y su número puede representar un alto porcentaje de la cuenta microbiana total.

El ácido alginico (ácido poliurónico) es producido por diversas algas pardas. La materia prima para la explotación industrial de los derivados del ácido poliurónico es suministrada principalmente por Macrocystis pyrifera, varias especies de Laminaria y Ascophyllum nodosum. Junto a los lugares donde se encuentran las algas pardas, tales derivados se encuentran en el agua y los sedimentos, donde pueden ser descompuestos por algunas bacterias. Particularmente comunes son Alginomonas alginovorans y A. algenica, y menos frecuentemente A. fucicola. Estas dos últimas también son capaces de descomponer el agar.

La quitina (poliacetil-glucosamina), que es la sustancia que

forma el esqueleto de los animales inferiores y de los hongos, se encuentra ampliamente distribuida en las aguas y sus sedimentos. La mayor parte, proviene de los crustáceos, cuyos esqueletos exteriores están formados predominantemente de quitina. Esta sustancia es activamente descompuesta por algunas bacterias y hongos. Entre las primeras predominan los miembros de los géneros Pseudomonas y Vibrio; menos comunes son los de Benecke o Actinomicetos (Micromonopora).

Los hongos quitinolíticos también se encuentran en el agua. Un organismo quitinolítico obligado es, por ejemplo, el ficomiceto Karlingiomyces asterocystis.

La descomposición microbiana de la quitina es llevada a cabo por exoenzimas (quitinasas). En el proceso se producen sólo pequeñas cantidades de N-acetil glucosamina, pero grandes de quitobiosa y quitotriosa que son, a su vez, descompuestas por la quitobiasa.

La lignina es un importante constituyente de la madera, por lo que se encuentra en forma abundante en muchas aguas interiores y costeras, pero sólo en muy pequeña cantidad en los océanos. Es descompuesta mucho más lentamente que la celulosa, y principalmente por hongos superiores. Numerosos Ascomicetos y Fungi Imperfecti ligninolíticos se encuentran sobre las maderas sumergidas. En un medio ambiente anaerobio la lignina es muy resistente al ataque microbiano.

Las grasas, producidas por plantas y animales, están presentes en casi todas las aguas y sus sedimentos. Son desdobladas por un cierto número de bacterias y hongos que producen lipasas. Las bacterias lipolíticas están am-

pliamente distribuidas y son capaces de atacar toda clase de aceites y grasas. ZoBell y Upham en 1944 aislaron del mar 13 especies de bacterias lipolíticas; - miembros de los géneros Pseudomonas, Vibrio, Sarcina, Serratia y Bacillus fueron particularmente activas. La hidrólisis comienza con la formación de glicerina y ácidos grasos. La glicerina es particularmente importante como fuente de energía y es, por esto, rápidamente oxidada.

Las ceras (ésteres de alcoholes superiores univalentes con ácidos carboxílicos superiores) también pueden ser desdobladas por los microorganismos, pero generalmente más lentamente que las grasas.

Los ácidos grasos son producidos no sólo como resultado de la hidrólisis de grasas y ceras sino también durante diversos procesos de fermentación. Bajo condiciones adecuadas pueden ser desdoblados por las bacterias y los hongos. El rompimiento incompleto de los ácidos grasos en un medio ambiente anaerobio está acompañado por la formación de metano y dióxido de carbono. Un pequeño grupo de anaerobios obligados, que comprende unas ocho especies de los géneros Methanobacterium, Methanococcus y Methanosarcina son capaces de realizar esta fermentación. Los aceptores de hidrógeno pueden ser el CO_2 (en Methanosarcina barkeri), el CO y los grupos CH_3 . Algunos organismos son capaces de reducir el dióxido de carbono a metano con hidrógeno molecular.

Los hidrocarburos llegan al agua de muchas formas. El metano es producido en los sedimentos durante el rompimiento anaerobio de los ácidos grasos, como ya se mencionó; durante el mismo proceso se forman cantidades menores de etano, propano y butano. Los hidrocarburos alifáticos de cadena larga y los aromáticos son producidos por las plantas y además se encuentran en el pe-

tróleo, que en regiones petroleras entra al agua por medios naturales, pero en otras zonas llega principalmente por medio de los derrames de pozos y de barcos cisterna.

Bajo condiciones adecuadas, casi todos los hidrocarburos pueden ser descompuestos por microorganismos. Del hábitat marino se han aislado numerosas bacterias y también un cierto número de hongos que pueden oxidar hidrocarburos aislados o una gran variedad de ellos.

Como regla general, el metano es oxidado por bacterias que no atacan hidrocarburos de cadena larga. Methanomonas (Pseudomonas) methanica puede utilizar metano (o metanol) como su única fuente de carbono . Además de las Pseudomonas, algunos actinomicetos son los oxidantes más activos del metano.

Los hidrocarburos alifáticos de cadena corta como el etano, propano y butano pueden ser oxidados por bacterias de diversos géneros, especialmente Pseudomonas, Flavobacterium y Nocardia.

Los hidrocarburos alifáticos de cadena larga pueden ser descompuestos por un número mayor de bacterias, particularmente Pseudomonas, Micrococcus, Corynebacteria y Nocardias. También algunas levaduras del género Candida pueden oxidar estos hidrocarburos. Es interesante que, mientras más grande sea el número de átomos de carbono en la cadena, más especies diferentes de microorganismos pueden descomponer estos hidrocarburos.

Los hidrocarburos aromáticos son desdoblados por algunas bacterias, por levaduras y otros hongos. Entre las bacterias que pueden oxidar estos hidrocarburos predominan los miembros de los géneros Pseudomonas, Vibrio, Spi-

rillum, Flavobacterium, Achromobacter, Bacillus y Nocardia. Los productos inmediatos de la descomposición son anillos aromáticos, substituidos casi exclusivamente con grupos hidroxilos. Estos anillos son luego abiertos a ácidos alifáticos; esto requiere oxígeno molecular cuya incorporación es catalizada por oxigenasas.

Un pequeño grupo de bacterias y hongos pueden atacar a fenoles siempre y cuando su concentración no exceda de 2 g/l.

7.4 EL CICLO DEL NITROGENO

El nitrógeno, como constituyente de las proteínas, es un elemento vital. Las microalgas como grupo en general, pueden ingerirlo en forma de compuestos orgánicos o inorgánicos. Se ha establecido que todas las algas que contienen clorofila, con una o dos excepciones, pueden usar tanto amoníaco como nitratos, como fuente de nitrógeno, si estos se encuentran en concentraciones adecuadas; si la energía disponibles está limitada, las plantas prefieren el amoníaco ya que la reducción aerobia del nitrato es endotérmica y las plantas usan su nitrógeno principalmente en la forma de radicales amino. Los nitritos son usados también por muchas especies si están en bajas concentraciones, pero concentraciones mayores de nitritos y amoníaco son a menudo tóxicas, inhibiendo este último la reducción del nitrato.

Las fuentes orgánicas de nitrógeno que pueden usar las algas incluyen urea (presumiblemente regenerando ornitina directamente de la arginina), asparagina, glutamina, glicina, ácido glutámico, purinas, pirimidinas, caseína

y otros hidrolizados de proteínas, y amidas tales como acetamidas u succinamida. Algunas de estas fuentes orgánicas de nitrógeno también pueden actuar como agentes quelantes.

La producción de materia orgánica depende en gran escala de la concentración de amoníaco y nitratos. En la zona luminosa casi todo el nitrógeno se encuentra en las proteínas de las criaturas vivientes; pero las bacterias, particularmente las bacterias putrificantes, lo liberan en forma de amoníaco que así queda disponible para las plantas verdes como fuente de nitrógeno, ya sea directamente o después de su oxidación microbiana a nitratos.

Algunos microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno libre y así volverlo útil para que las demás criaturas vivientes puedan usarlo. Otros, reduciendo los nitratos, liberan nitrógeno, el cual es entonces perdido por el sistema. De esto se deduce que el ciclo del nitrógeno ocupa una importante posición en los procesos biológicos que se llevan a cabo en el océano.

7.4.1 Fijación del Nitrógeno Molecular.

La fijación del nitrógeno molecular se lleva a cabo en el agua por diferentes bacterias y algunas algas marinas, principalmente Cyanophycophytas. Entre las bacterias, Azotobacter agilis y A. chroococcum desempeñan un papel - particularmente importante en los ambientes aerobios. En los sedimentos anaerobios, Clostridium pasteurianum y algunos organismos relacionados son importantes recolectores de nitrógeno. Más recientemente, se ha establecido que además de las especies de Azotobacter y Clostridium, algunas otras bacterias - tanto -

autótrofas como heterótrofas - son capaces de asimilar el nitrógeno libre; sin embargo, la fijación de estas es menos efectiva. Se ha reportado, por ejemplo, que en el agua del mar Negro, un Spirillum es el más activo organismo fijador de nitrógeno.

La forma de distribución de las bacterias fijadoras de nitrógeno en el mar abierto ha sido investigada extensamente por medio de métodos de cultivo selectivos usando medios sin nitrógeno. A partir de estos estudios, parece ser que las bacterias fijadoras del nitrógeno están amplia pero desigualmente distribuidas en todas las profundidades del agua de mar y en los sedimentos del fondo del mismo.

Así mismo, se ha encontrado una estrecha relación entre las bacterias que crecen en los medios no nitrogenados y la fijación del nitrógeno. Al tratarse muestras de varias áreas marinas, se aislaron 2,000 cultivos puros de microorganismos que crecen en medios sin nitrógeno y se estudiaron morfológica y bioquímicamente. La mayoría de los cultivos mostraron capacidad para reducir el acetileno (forma de medir la fijación del nitrógeno), aunque la actividad fue muy débil en comparación con la de Azotobacter sp o Clostridium sp aislados del suelo. Esta fijación de nitrógeno, comparativamente baja pero detectable, se encontró tanto en el agua de mar como en los sedimentos, usando el método de la reducción del acetileno. En algunos casos fue necesario incubar durante largos períodos de tiempo para poder medir la producción de etileno mediante cromatografía de gases. En estos experimentos, las condiciones para la reducción del acetileno en las muestras de sedimento, como son pH, concentración del sal, temperatura, etc., demostraron que los procesos de fijación en los sedimentos están adapta-

dos al medio ambiente marino (25).

También se han encontrado bacterias anaerobias fijadoras de nitrógeno en comunidades marinas naturales y se han aislado bacterias a partir de agua de mar o de sedimentos en la costa de Oregon, identificadas como Klebsiella pneumoniae y Enterobacter aerogenes, siendo la primera capaz de fijar una mayor cantidad de nitrógeno. Aunque estas bacterias no fueron estudiadas en detalle parece que la fijación del nitrógeno por bacterias anaerobias facultativas es muy común en las costas oceánicas (53).

La fijación de nitrógeno entre las algas marinas está en su mayor parte - como ya se mencionó - confinada a las Cyanophycophytas, particularmente de los géneros Anabaena, Nostoc y Phormidium. Se han encontrado dos especies estuariñas, Calothrix scopulorum y Nostoc eutrophytum, que fijan vigorosamente el nitrógeno en agua de mar natural, liberando al medio parte del nitrógeno fijado. La fijación es mayor en invierno y menor en verano. Trichodesmium ha sido correlacionado con la fijación del nitrógeno, pero su velocidad es variable. Esto puede explicarse por la autotoxificación que también inhibe la fotosíntesis. La fijación es estimulada por los fosfatos y elementos traza, y mucho más por ambos; el nitrógeno en forma de amoníaco no inhibe completamente la fijación del nitrógeno. Sin embargo Fogg (15) estableció en las algas estudiadas por él, que las sales de amonio suprimen completamente la fijación, que la urea la suprime al descomponerse a amoníaco y que los nitratos la inhiben parcialmente, Fogg también apunta que la fijación del nitrógeno por las algas depende de la fotosíntesis para conseguir donadores de hidrógeno y esqueletos de carbono. De ahí que la inhibición de la fotosíntesis debe inhibir la fijación del nitrógeno.

Como las algas que fijan nitrógeno producen sustancias extracelulares, estas deben tomarse en cuenta en el balance del nitrógeno. De aquí surge la interesante posibilidad de que los organismos fijadores del nitrógeno, tanto bacterias como algas, puedan producir un exceso de compuestos nitrogenados los cuales, como ya se vió, son asimilados por un gran número de organismos que no pueden fijar nitrógeno (54).

En resumen, una estimación del nitrógeno biológico global indica que un 20% de toda la fijación, que es de 175×10^6 toneladas métricas al año, se lleva a cabo en el mar. Estos datos para los océanos están basados principalmente en el conocimiento de la actividad de las algas verde-azules en el medio marino pues hay relativamente pocos datos disponibles sobre la magnitud de la fijación bacteriana de nitrógeno, pero sabemos que desempeña un papel muy importante, sobre todo en los sedimentos (53).

7.4.2 Amonificación y Nitrificación

La amonificación es de particular importancia para la vida acuática ya que permite la recirculación del nitrógeno. Numerosas bacterias putrificantes y muchos hongos pueden realizarla. Su cantidad, por supuesto, difiere para distintas aguas y está sujeta a considerables fluctuaciones. Dado que el tiempo de generación de la mayoría de las bacterias putrificantes es relativamente corto, estas se multiplican rápidamente donde quiera que haya proteínas disponibles.

La temperatura óptima para la amonificación generalmente es de 30-35°C, pero esta temperatura sólo se alcanza muy rara vez en los océanos de

las zonas de climas templados.

En invierno la amonificación se reduce notablemente, por efecto de la disminución de la actividad de las bacterias putrificantes. Pero incluso a 0°C no se detiene por completo y puede continuar aún bajo una gruesa capa de hielo. Sin embargo, la cantidad de bacterias putrificantes en los ríos contaminados, lagos y aguas costeras es a menudo considerablemente mayor en invierno que en verano, pero este marcado incremento de las bacterias putrificantes durante la estación fría está limitado a las aguas contaminadas y no ocurre normalmente en las grandes áreas marinas.

El amoníaco que se libera durante la putrefacción de las proteínas sirve como fuente de nitrógeno para numerosos organismos vegetales, tanto C-heterotróficos como autotróficos. También provee energía para las bacterias nitrificadoras que, en presencia de oxígeno, oxidan el amoníaco a nitritos, los cuales a su vez, como regla general, son oxidados a nitratos por otro grupo de bacterias nitrificantes. Todo el proceso recibe el nombre de Nitrificación:



El primer paso se denomina nitrificación y el segundo nitratación. Las bacterias quimioautotróficas nitrificantes necesitan la energía obtenida por la nitrificación para reducir el bióxido de carbono y así construir las sustancias orgánicas. Con el nitrato, se alcanza el paso final de la mineralización de los compuestos orgánicos del nitrógeno; además, este compuesto es de gran importancia.

cia como fuente de nitrógeno para el fitoplancton. En la zona afótica de los océanos, los nitratos se acumulan, y en las áreas con movimientos ascendentes de agua provocan un vigoroso desarrollo del plancton.

En realidad, se conoce relativamente poco acerca del proceso de nitrificación en el mar. La primera sugerencia en cuanto a la existencia en el mar, de bacterias responsables del proceso de nitrificación fue hecha en 1898 por Vermon (46). Hace algunas décadas, los organismos nitrificantes fueron aislados del Báltico y del mar del Norte, pero se encontraban principalmente en los sedimentos. Poco después, también se demostró su presencia en varias aguas costeras.

Thomsen demostró la abundante presencia de bacterias formadoras de nitritos en el fondo del mar, aunque estaban ausentes en el agua de mar o en las algas; los organismos formadores de nitratos también se aislaron del material del fondo, pero sólo cerca de la costa. Se encontró que los organismos responsables de los dos procesos, llamados Nitrosomonas y Nitrobacter, que fueron aislados del mar por este autor, eran morfológicamente iguales a las correspondientes formas aisladas por Winogradsky a partir del suelo (46).

Sin embargo, hace algunos años, Watson logró aislar una bacteria quimioautotrófica nitrificadora llamada Nitrosococcus oceanus a partir de aguas del Atlántico. Pudo demostrarla incluso a una profundidad de 1,500 m. Más recientemente, en 1971, el mismo autor encontró dos bacterias nitratadoras, Nitrosopina gracilis y Nitrococcus mobilis, pero sólo en un número de 10 de estos organismos por litro de agua, a lo máximo. Esto puede explicar porqué antes fueron pasadas por alto.

En general, la mayor abundancia de las bacterias nitrificadoras del mar en los sedimentos que en el agua se ha explicado por el hecho de que el agua contiene sólo trazas de amoníaco, mientras que la continúa descomposición de los residuos de plantas y animales sobre y dentro de los sedimentos suministra el substrato necesario para su acción.

Ahora bien, a partir de los resultados obtenidos por Waksman (46) y otros datos de naturaleza similar se puede afirmar que el agua de mar, especialmente la de la superficie posee muy pocos microorganismos nitrificadores. Por otro lado, en el fondo del mar, el lodo y la arena tienen una activa población de organismos nitrificantes. La formación y acumulación de nitratos en el mar se debe, en su mayor parte a la actividad de estos organismos. Los procesos de formación de nitritos y nitratos se llevan a cabo en el fondo del mar; luego, el nitrato se difunde al agua. Además, debemos recordar que, dada la especificidad de los microorganismos que oxidan el amoníaco a nitritos y sus condiciones de cultivo, es mucho más fácil demostrar la formación de nitritos que la de nitratos (46).

Por otro lado, la actividad nitrificadora disminuye bajo tensiones de oxígeno pequeñas, pero puede continuar lentamente, aún en condiciones de tensión de oxígeno extremadamente bajas (42).

También se ha sugerido la posibilidad de la oxidación fotoquímica del amoníaco a nitritos e incluso a nitratos, en el mar. Se sabe que las soluciones de amoníaco y de sales de amonio expuestas a la luz del sol, en presencia de pequeñas cantidades de un fotosensibilizador, darán un incremento en la concentración de nitritos, especialmente en soluciones alcalinas. El TiO_2 , el ZnO , el CdO y otros actúan como fotosensibilizadores. Sin embargo, la formación fo-

toquímica de nitritos y nitratos sólo podría explicar parcialmente el origen de los nitratos en el mar, ya que únicamente puede llevarse a cabo en las capas superficiales, con la formación de amoníaco precediendo este proceso. El hecho de que los nitratos se encuentren principalmente en las capas inferiores del agua enfatiza la probable limitación de este proceso en la formación de nitratos en el mar (46).

Los organismos fotosintéticos, con la posible excepción de algunas algas verde-azules y de las plantas que tienen una asociación simbiótica con bacterias fijadoras del nitrógeno, derivan la mayor parte de su nitrógeno a partir de nitratos. El primer paso en la reducción asimilatoria del nitrato es su reducción a nitritos. En las algas verde azules, el donador fisiológico de electrones para que se lleve a cabo la reacción es la ferredoxina reducida, que es el aceptor primario de electrones del fotosistema I. Por lo tanto, al menos en estos microorganismos, la reducción de nitratos a amoníaco puede acoplarse directamente a las reacciones luminosas de la fotosíntesis (40).

7.4.3 Desnitrificación

Los compuestos nitrogenados son introducidos al mar por los ríos, por la fijación de nitrógeno y por precipitación directa sobre la superficie del mar. Hay cada vez mayor evidencia de que la disponibilidad del nitrógeno fijado limita la producción biológica de la materia orgánica en las áreas oceánicas.

Con la excepción de las regiones con corrientes ascendentes, la entrada de nitrógeno a partir de la lluvia, los ríos y las aguas profundas suminis

tra menos del 20% del nitrógeno requerido para el crecimiento del fitoplancton, y menos del 20% del nitrógeno requerido por la vegetación periférica de los estuarios. El ciclo oceánico del nitrógeno está, de esta forma, dominado por una regeneración in situ, que debe suministrar la remanente demanda de nitrógeno para sostener la productividad.

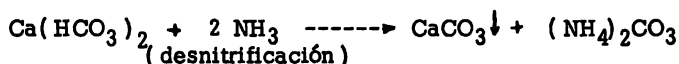
Ahora bien, la desnitrificación, que es un proceso bioquímico in situ, es uno de los principales procesos que disminuyen la cantidad total del nitrógeno combinado en el mar, y que ayudan a la conservación del ciclo del nitrógeno.

Mientras que la nitrificación sólo es posible en presencia de oxígeno, aunque basten concentraciones muy pequeñas, en un ambiente anaerobio - si hay presentes donadores orgánicos de hidrógenos - la desnitrificación, o sea, la reducción desasimilatoria de nitratos y nitritos a óxidos nítrico y nitroso (NO y N_2O) y a nitrógeno molecular, es efectuada por muchas bacterias anaerobias facultativas que usan, bajo condiciones anaerobias, nitratos y nitritos como aceptores de hidrógeno.

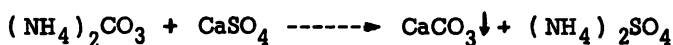
Muchas bacterias marinas reducen los nitratos a nitritos, pero esta transformación no es muy importante pues la mayoría de las algas marinas son capaces de usar ambos compuestos casi con la misma facilidad. La reducción de nitritos a nitrógeno puede ser realizada sólo por un pequeño número de bacterias y por medios fotoquímicos.

La desnitrificación bacteriana en el agua ha sido considerada, desde principios de siglo, como responsable de la gran cantidad de carbonato de calcio que hay en las áreas de los arrecifes de coral; más recientemente, se en-

contró que las Pseudomonas marinas requieren calcio y magnesio para crecer en medios nitrógenados. Se cree que los organismos absorben considerables cantidades de calcio y magnesio, produciendo amoniaco durante su metabolismo, y precipitan el carbonato de calcio, presumiblemente de acuerdo a la ecuación:



y:



El carbonato se precipita sobre los cuerpos bacterianos. La importancia de esta reacción en la formación de margas y arrecifes de piedras calizas no se conoce. La validez de estas ecuaciones ha sido cuestionada pero no ha podido ser refutada por completo.

La reacción de desnitrificación en el medio marino ocurre en dos pasos separados. A medida que los nitratos desaparecen del agua de mar anóxica, los nitritos se acumulan en una correspondencia cercana al 1 : 1 hasta que la concentración de nitratos es muy baja o está agotada. Después, el nitrito es reducido a nitrógeno gaseoso. El dinitrógeno parece ser la principal forma de nitrógeno gaseoso producida por los desnitrificadores acuáticos.

Sin embargo, se ha detectado sobresaturación de N_2O (óxido nitroso) en aguas del Atlántico del Norte y del mar Caribe. En el Atlántico, la concentración del N_2O a diferentes profundidades oceánicas fue correlacionada con oxígeno, alcanzando su máximo en la capa con un mínimo de oxígeno a profundidad media. Esta correlación inversa sugiere que la producción del N_2O resulta de los procesos biológicos. Sin embargo, no se sabe si la producción de N_2O resulta de la desnitrificación o de actividades nitrificadoras, ya que ambos procesos

lo producen (17).

Las bacterias capaces de llevar a cabo la desnitrificación pueden ser demostradas prácticamente en todas las aguas. Se ha observado que, mientras que de un 10 a un 50% de las bacterias del agua de mar y sedimentos marinos reducen nitratos a nitritos, muy pocas de ellas, generalmente menos de 1/100, reducen nitratos y nitritos a compuestos gaseosos de nitrógeno.

Aunque en su mayoría son anaerobios facultativos, se encuentran también en aguas ricas en oxígeno, el cual utilizan para su respiración. Sólo si el oxígeno está escaso, el sistema enzimático se dirige a la respiración con nitratos; sin embargo, esto requiere algo de tiempo ya que la nitrato-reductasa se utiliza sólo bajo condiciones anaerobias. Inversamente, el cambio de respiración con nitratos a la respiración aerobia es instantáneo. Parece que la respiración con nitratos es una especie de dispositivo de emergencia que entra en acción - cuando no hay más oxígeno disponible, No obstante, la energía producida es de sólo un 10% menos que cuando el oxígeno está disponible como aceptor de hidrógeno .

Una gran desnitrificación puede presentarse en zonas anaerobias del mar y se hace evidente por el declive en la concentración de nitratos y el - incremento temporal de nitritos. También este es un proceso particularmente activo en la superficie de los sedimentos.

En algunas zonas anaerobias del mar, por ejemplo en el mar Negro, se lleva a cabo la nitrato-amonificación, que representa el proceso inverso de la nitrificación o sea, es la reducción de los nitratos a amoníaco, vía nitritos. Sin embargo, vista como un todo, es probablemente, mucho más rara en

la naturaleza que la desnitrificación, pero debe admitirse que el proceso de la nitrato-amonificación ha sido, con mucho, insuficientemente investigado.

El Ciclo del Nitrógeno en el agua se muestra de una manera simplificada en la figura 7.4.1 Esta figura permite apreciar la importancia del oxígeno; su presencia determina si el nitrato es producido o destruido en el agua, y si el balance del nitrógeno es positivo o negativo.

7.5 EL CICLO DEL AZUFRE

El hecho de que el sulfato sea el segundo anión más abundante en el agua de mar (cerca de 0.03 M como Na_2SO_4) ha conducido a asumir que las bacterias metabolizadoras del azufre juegan un papel importante en las transformaciones de carbono orgánico e inorgánico del medio ambiente marino.

La importancia de las bacterias anaerobias obligadas, reductoras de sulfatos, en la conversión del azufre marino está generalmente aceptada, pero la porción aerobia del ciclo del azufre por microorganismos marinos en aguas lejanas a las costas no es bien conocida . Los estudios sobre la oxidación microbiana del azufre en el mar se han dirigido principalmente a la distribución de Thiobacillus sp. en el medio ambiente marino y se han basado en la suposición de que la oxidación microbiana de los compuestos reducidos del azufre en el mar se lleva a cabo por microorganismos quimiolitotróficos, parecidos a los que se encuentran en el medio terrestre y que las bacterias fotosintéticas anaerobias oxidadoras del azufre están ausentes tanto en las aguas aerobias cercanas a la costa oceánica como en las zonas anóxicas (por ejemplo, el mar Negro y la Trinchera Cariaco) que ya

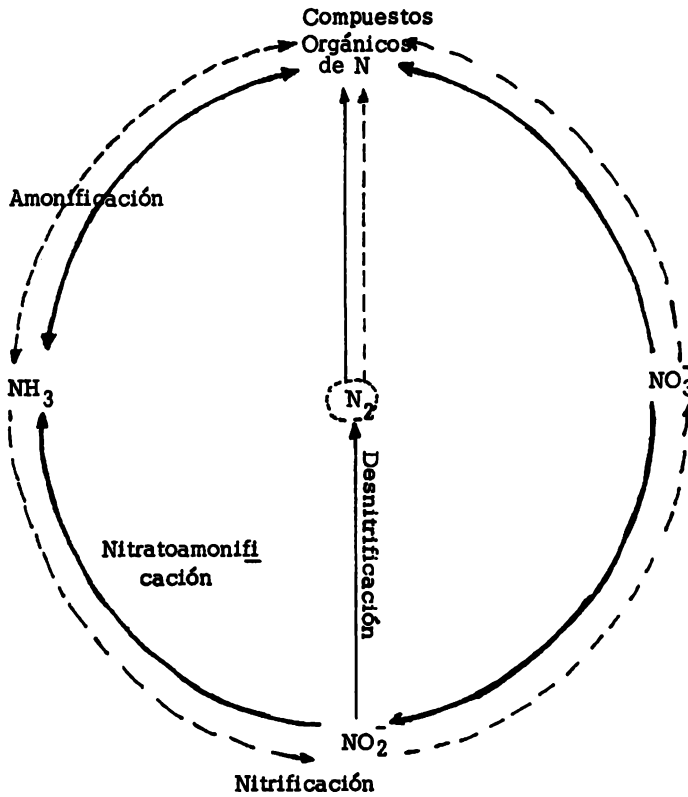


FIGURA 7.4.1 El Ciclo del Nitrógeno

- - - - - Procesos Aeróbicos
————— Procesos Anaeróbicos

cen bajo la zona eufótica. Los tiobacilos pueden encontrarse en aguas y sedimentos cercanos a la costa, pero raramente están presentes en número considerable en aguas y sedimentos lejanos a la costa e incluso en la Trinchera Cariaco (45).

Los estudios hechos por Tuttle y Jannash (1972) sobre la presencia de bacterias incoloras oxidadoras del azufre en el mar confirman la ausencia general de Thiobacilla sp. quimioautotróficos, pero revelan la presencia de una gran variedad de bacterias heterotróficas que oxidan los tiosulfatos y que repre-sentan una proporción sorprendentemente grande (más del 25%) de la población microbiana que puede cultivarse a partir de muestras de agua y sedimentos aeorios del mar abierto, en medio común para heterotróficos. Los exámenes fisiológicos subsecuentes de los aislamientos representativos de una variedad de ambientes marinos aerobios y anaerobios demostraron que el metabolismo aerobio del azufre en estas bacterias está restringido principalmente a la oxidación in-completa de sulfuros y tiosulfatos a politionatos, acompañada por un incremento en el pH del medio (44)

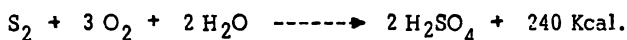
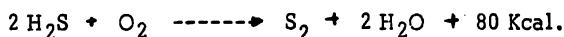
Tales oxidaciones pueden beneficiar a los microorganismos: la oxidación de tiosulfato a tetracionato en un medio con tiosulfato-carbono orgánico incrementa la velocidad de crecimiento en cultivos aislados y facilita la estabilización de la densidad de población en cultivos continuos.

Aunque la extensa distribución de este grupo fisiológico de bacterias sugiere que pueden ser importantes en la conversión tanto del azufre como del carbono, aun se tiene que demostrar que son capaces de metabolizar compuestos reducidos de azufre en el típico ambiente del mar abierto, con bajas temperaturas y con grandes presiones hidrostáticas.

Los experimentos realizados en 1975-76 por Tuttle y Jannash demostraron la utilización microbiana de tiosulfatos en elevadas presiones y bajas temperaturas en el mar, tanto por poblaciones naturales como por bacterias oxidantes de tiosulfatos aisladas previamente. Es fácil imaginar que la oxidación de los compuestos reducidos del azufre puede contribuir a los procesos metabólicos microbianos que se llevan a cabo en ciertos ambientes costeros y en los sedimentos, pero la presencia de poblaciones potencialmente activas de bacterias heterotróficas, oxidadoras de tiosulfatos, en aguas profundas del océano es difícil de interpretar; sugiere que bajos niveles de intermediarios inorgánicos reducidos de azufre aún no detectados, pueden ser liberados durante la mineralización de los compuestos orgánicos.

Sobre esto último, sabemos que durante la putrefacción de las proteínas, además de amoníaco, se liberan pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno, originadas principalmente de los aminoácidos que contienen azufre (cistina o cisteína y metionina). Algunas bacterias putrificantes pueden llevar a cabo esta reacción, hidrolizando los grupos sulfhidrilo por medio de desulfurasas.

El sulfuro de hidrógeno no es estable en un ambiente aerobio y es oxidado tanto químicamente como por algunas bacterias y hongos. La oxidación microbiana progresa a través de varios productos intermediarios hasta llegar a sulfatos, los cuales representan el paso final en la mineralización de los compuestos orgánicos del azufre y sirve como una fuente importante del elemento vital, azufre, para las plantas verdes. A este proceso se le llama sulfurización y se representa con las siguientes ecuaciones:



Algunas bacterias quimioautotróficas son capaces de oxidar el sulfuro de hidrógeno y otros compuestos del azufre, oxidables, como el azufre mismo, tiosulfatos (ya visto) y sulfitos, y utilizar la energía así obtenida para reducir el dióxido de carbono. Entre ellas tenemos, sobre todo, a los antes mencionados Thiobacilla y probablemente también las bacterias filamentosas del azufre de los géneros Beggiatoa y Thiothrix. Además de las quimioautotróficas obligadas y facultativas, también un cierto número de microorganismos heterotróficos, tanto bacterias como hongos, son capaces de oxidar compuestos de azufre. Sin embargo, hasta ahora, no se ha encontrado que tengan importancia en ese aspecto. También las bacterias fotoautótrofas como las clorobacterias y las bacterias púrpuras del azufre oxidan compuestos reducidos de azufre a azufre elemental o a sulfatos para obtener hidrógenos para la reducción del CO_2 .

Los Thiobacilla parecen ser las especies más importantes de oxidadores del azufre en el agua. Bajo condiciones adecuadas se reproducen en gran medida dondequiera que se produzca H_2S .

Además de las especies aerobias, también hay formas anaerobias facultativas (Thiobacillus denitrificans) que pueden llevar a cabo respiración con nitratos como aceptor final de electrones. Su importancia reside en su habilidad para oxidar compuestos de azufre en el medio ambiente anaerobio de la zona afótica, siempre y cuando haya nitratos presentes; esta importancia aumenta si consideramos que como el sulfuro de hidrógeno sufre una rápida oxidación química en presencia de oxígeno, sólo se puede acumular en un medio ambiente

anaerobio. Además de las pequeñas cantidades de H_2S que se liberan en la putrefacción de las proteínas, en todas las aguas superficiales, este compuesto también puede producirse en un ambiente anaerobio por reducción bacteriana de los sulfatos. Un requisito para la reducción bacteriana del sulfato es la ausencia del oxígeno y la presencia de materia orgánica que proporciona electrones para la reducción. Como donadores de hidrógenos se usan predominantemente ácidos orgánicos y alcoholes y el producto terminal es frecuentemente el ácido acético.

A este proceso de reducción del sulfato se le llama desulfurización ya que el H_2S escapa al aire y se pierde como substrato. En cierta forma, este proceso puede compararse con la desnitrificación, sólo que, los reductores de sulfatos son generalmente anaerobios obligados y no pueden crecer en ambientes aerobios, por lo que dependen enteramente de la respiración con sulfatos y, a diferencia de los desnitrificadores, no pueden usar oxígeno para la respiración.

El tipo dominante de estos microorganismos es Desulfovibrio sp. que reduce los sulfatos a sulfuros; estos pueden acumularse en la zona reducida, o pueden difundir hacia la superficie, donde son reoxidados.

Una de las especies más ampliamente difundida en el mar es - Desulfovibrio oestuarii. Además, las especies de Desulfovibrio están frecuentemente asociadas con Clostridium (Desulfotomaculum) nigrificans, un bacilo es

Además de estos reductores de sulfatos, anaerobios obligados, Sturm reportó en 1948 una bacteria anaerobia facultativa que reduce vigorosamente los sulfatos. El organismo fue llamado Pseudomonas zelenskii y se encuentra en grandes cantidades en el fango del mar Negro, pero también en otros luga

res.

Aunque sólo unas cuantas clases de bacterias son capaces de llevar a cabo la desulfurización, esta juega un importante papel en la naturaleza. Particularmente en el cieno de las aguas, se encuentran presentes todos los requisitos para una vigorosa reducción de sulfatos; estas condiciones son normalmente anaerobias y las sustancias que se pueden como donadoras de hidrógenos son generalmente abundantes. Los procesos de desulfurización también se presentan a menudo en las zonas bajas libres de oxígeno, de las partes encerradas de los mares. De esta manera pueden producirse cantidades considerables de H_2S . De hecho, la mayor parte del sulfuro de hidrógeno presente en el mar Negro parece originarse de la desulfurización; se ha atribuido de un 99.4 a un 99.6% del H_2S producido en el mar, a la desulfurización y sólo de un 0.4 a un 0.6% a la putrefacción de las proteínas; sin embargo, otros autores opinan que no hay evidencia para saber cual es el origen del sulfuro de hidrógeno del mar Negro. Oppenheimer, en 1963, concluyó a partir de experimentos acerca de la formación de H_2S en los sedimentos de la costa del golfo de México y del mar del Norte, que una considerable proporción de este se debe a la putrefacción proteica. No obstante, en muchas aguas con pequeñas cantidades de proteínas, parece producirse mucho más H_2S por la desulfurización que por la putrefacción de las proteínas.

Otro aspecto importante del ciclo del azufre en el mar, es que interviene en los cambios de pH del mismo, pues el extremo ácido del medio ambiente biológico es controlado por la producción del ión sulfato por los organismos que oxidan el azufre, principalmente Thiobacillus thiooxidans. El potencial está gobernado por los organismos del ciclo del azufre en las zonas profundas y

por la fotosíntesis en las zonas superficiales. La reducción de sulfatos y la acción de los heterótrofos anaerobios puede llevar a un Eh de cerca de -300 mV, debido a la presencia del ión SH^- . En presencia de luz y mientras no haya oxígeno, este ión puede ser oxidado anaerobicamente hasta azufre, por las bacterias verdes del azufre. Cuando aparece el ión OH^- en el sistema, aparecen las bacterias púrpuras del azufre y Thiobacillus denitrificans y realizan la oxidación de azufre y sulfuros. La oxidación anaerobia de los sulfuros también es posible por mecanismos no biológicos, en presencia de luz con fierro como catalizador. La oxidación aeróbica puede proceder en forma no biológica pero los Thiobacilos usan esta reacción para obtener energía para la fijación de carbono (54).

Como se han hecho muy pocas medidas in situ de la reducción de sulfatos en los sedimentos marinos, y por ende, la importancia del ciclo del azufre en la mineralización de los detritus orgánicos es muy poco conocida, es conveniente incluir algunas de las conclusiones a que llegaron Jørgensen y Fenchel, en 1974, después de investigar el ciclo del azufre de un sedimento marino en un sistema modelo, construido en el laboratorio, usando arena y hojas de Zostera marina cortadas. Este modelo fue estudiado durante 7 meses:

1.- Durante este tiempo, el modelo cambió rápidamente desde - condiciones oxidadas hasta condiciones fuertemente reducidas y luego, lentamente, empezó a reoxidarse de nuevo.

2.- Hubo desarrollo y zonación de las bacterias del azufre, los cuales fueron seguidos y correlacionados con los gradientes químicos. Las observaciones microbianas indican que las capas superficiales son heterogéneas y que pueden existir micro-nichos reducidos dentro de capas oxidadas. Parte del

sulfuro producido aquí, es probablemente reoxidado dentro de la capa misma. Sin embargo, con los métodos presentes para medir la velocidad de transferencia, sólo se puede estimar la velocidad neta del sistema total.

3.- Las velocidades promedio de reducción de sulfatos fueron de 80 nM de S/cm³-día durante los primeros meses del experimento y disminuyeron lentamente hasta un valor de 25 nM de S/cm³-día después de 7 meses. Inicialmente, la mayoría de los sulfuros producidos precipitaban como FeS, pero con el tiempo, una fracción cada vez más grande permanecía en solución. Cerca de la mitad de los sulfuros libres era perdida concomitantemente por difusión hacia la superficie, donde se llevaba a cabo una acumulación transitoria de azufre elemental y orgánico en las placas bacterianas.

4.- La velocidad de ingestión de oxígeno en la superficie del sedimento se incrementó desde 24 hasta 112 meq/m²-día. Esto es del mismo orden de magnitud de la velocidad de reducción de sulfatos y de la ingestión bruta de sulfatos. Los cálculos sobre el total de ingestión de oxígeno y sulfatos y de pérdida de materia orgánica indicaron que más de la mitad de la mineralización de los detritus orgánicos fue catalizada via el ciclo del azufre.

5.- Las velocidades medidas en este sistema modelo son del mismo orden de magnitud de aquellas, medidas por otros investigadores en sedimentos costeros. Esto indica que la respiración anaerobia, principalmente la reducción de sulfatos, puede ser tan importante como la respiración aerobia para el metabolismo total de las comunidades bénticas (23).

Como ya se ha mencionado, el ciclo del azufre, al igual que el del nitrógeno - está notablemente afectado por el oxígeno - (figura 7.5.1).

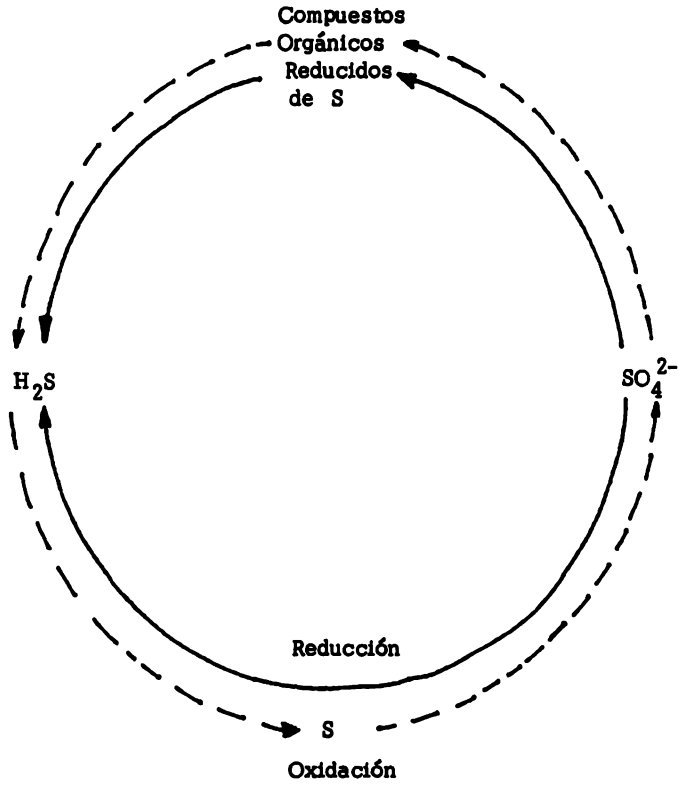


FIGURA 7.5.1 El Ciclo del Azufre.

- - - - - Procesos Aerobios
————— Procesos Anaerobios

Mientras que, bajo condiciones aerobias los compuestos orgánicos de azufre son mineralizados a sulfatos, en ambiente anaerobio los resultados son de producción de H_2S y pérdida de azufre.

7.6 EL CICLO DEL FOSFORO

Como los compuestos inorgánicos del nitrógeno los fosfatos son un factor limitante de la vida vegetal en muchas aguas. El fósforo, particularmente como constituyente de los ácidos nucleicos, es un elemento vital para to dos los organismos. Un cierto número de bacterias es capaz de almacenar ácido fosfórico en forma de polifosfatos en los gránulos de volutina. La escasez de fósforo en el agua puede limitar la descomposición de la materia orgánica por bacterias y hongos.

Por otro lado, los fosfatos son esenciales para la fotosíntesis, y para cualquier tipo de reacción que lleven a cabo las células, pues los enlaces altamente energéticos del ATP (trifosfato de adenosina) sirven para proveer o almacenar la energía que se requiere o se produce en dichas reacciones.

Existen muchas bacterias y hongos que, por medio del rompimiento de los compuestos orgánicos del fósforo, son capaces de liberar fosfatos y así, regresarlos al ciclo de la materia.

Debido a que a veces el mar contiene cantidades considerables de fósforo en forma sólida - como huesos y como $Ca_3(PO_4)_2$ - es importante para el ciclo del fósforo, el hecho de que muchas bacterias sean capaces de uti lizar dicho fosfato tricálcico, solubilizándolo mediante la producción de ácidos orgánicos; sin embargo, existen algunas bacterias que pueden ingerir pequeñas

cantidades de fosfato tricálcico no disuelto.

Algunos autores asumieron antiguamente, que había reducción microbiana de los fosfatos a fosfuros de hidrógeno, pero esto no se ha confirmado nunca, como tampoco se ha demostrado alguna oxidación microbiana de compuestos reducidos de fósforo.

Por lo tanto, el ciclo del fósforo es mucho más fácil de estudiar que los del nitrógeno y del azufre. Como regla general, el fósforo es ingerido por las plantas como pirofosfatos; estos son transformados en compuestos orgánicos de fósforo que luego se liberan, principalmente, debido a la acción de los microorganismos.

Estudiando la actividad bacteriana en el ciclo del fósforo se ha encontrado que el tiempo de conversión del fósforo (paso de pirofosfato a fósforo orgánico) por un anfípodo marino (pulga de mar o Talitrus) es de 41 horas, pero hay una ingestión mayor en los animales no estériles que en los estériles; esto se atribuye a que la flora bacteriana rompe el material ingerido hasta un grado que facilita la absorción. Los anfípodos liberan 30% del fósforo ingerido en forma orgánica y de este, el 80% es utilizado por las bacterias. Si se pone una muestra de heces en un medio estéril, se puede demostrar que las fosfatasas alcalinas liberadas por los anfípodos hidrolizan un 30% del fosfato fecal. Esto significa que la hidrólisis por exoenzimas puede ser más importante que las bacterias, en la regeneración de los fosfatos. Diatomeas libres de bacterias liberan muy poco fosfato orgánico durante su crecimiento, pero, al cesar su crecimiento liberan un 20% del fosfato ingerido como fosfato orgánico; y cultivos nuevos de diatomeas en crecimiento pueden usar un 40% de este fosfato orgánico

liberado, mientras que las bacterias marinas utilizan un 92%; tales bacterias no regeneran fosfato inorgánico y liberan poco fosfato orgánico. Esto indica que las fosfatasa alcalinas de los animales marinos, y no las bacterias, son los principales productores de la regeneración del fosfato inorgánico (54).

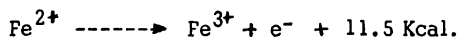
Por otro lado, se ha establecido que en las bacterias, como en las plantas, el ácido fosfórico puede ser reemplazado por el ácido silícico, el cual toma parcialmente las funciones del primero. En este proceso se forman ésteres de carbohidratos-ácido silícico y las características enzimáticas del organismo quedan alteradas, pero reversiblemente. La respiración de la glucosa es posible en ambos, fosfatos y silicatos, pero el inicio del sistema enzimático en cualquier caso requiere varias horas.

De esto se deduce que las bacterias también pueden intervenir en la renovación del silicio en las aguas.

7.7 LOS CICLOS DEL HIERRO Y EL MANGANESO

El hierro existe abundantemente y está presente en todas las - aguas, y en el mar también, aun cuando en este, suele encontrarse en muy pequeñas concentraciones. Es uno de los elementos necesarios para la vida y es requerido por todos los microorganismos como un componente importante de enzimas, como los citocromos.

Existe un grupo de bacterias que puede oxidar los compuestos ferrosos a férricos en gran escala.



Estas bacterias del hierro usan la energía obtenida en esta reacción para reducir el dióxido de carbono; por lo tanto, son quimioautótrofas. Sin embargo, la mayoría de las especies de estas bacterias parecen ser sólo autótrofas facultativas y pueden utilizar nutrientes orgánicos. Como la energía obtenida durante la oxidación del hierro es pequeña, se necesita una conversión relativamente grande, que puede conducir a la formación de extensos depósitos de hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Se ha establecido que las bacterias del hierro tienen que oxidar 280 gr. de hierro ferroso para producir 1 gr de sustancia celular.

En aguas salobres y en estuarios poco profundos, se pueden encontrar películas de bacterias del hierro, que forman tubos de un material pectinoide al cual se le adhieren partículas de óxido de hierro. Baas Becking, en 1956 demostró que estas bacterias del hierro como son Gallionella y Sphaerotilus son organismos de gradiente, ya que requieren la presencia de un cambio severo en el potencial redox que exista entre los dos lados de la película bacteriana.

Particularmente interesante es Thiobacillus (Ferrobacillus) - ferrooxidans, que oxida los compuestos ferrosos a férricos en reacciones ácidas. Este organismo acidófilo es un quimioautótrofo obligado y su importancia reside, sobre todo, en su habilidad para oxidar compuestos ferrosos en un ambiente ácido donde la autooxidación no es posible.

En cuanto a Gallionella ferrugina, no se ha probado con certeza que sea quimioautótrofa, pero muchos autores han asumido que lo es.

Las bacterias del hierro más ampliamente distribuidas son Lep-
tothrix achracea y Crenothrix polyspora, y parecen ser quimioautótrofos facul-

tativos, por lo que también pueden usar sustancias orgánicas, como la peptona. Ambas pertenecen a las bacterias filamentosas, las Chlamidobacteriales, en las que las células individuales permanecen conectadas formando un filamento, rodeado por una gruesa vaina gelatinosa. Estas vainas están coloreadas de amarillo ocre o de café oscuro debido a los depósitos de compuestos de fierro o manganeso. Las vainas se vuelven más y más gruesas con las incrustaciones de fierro o manganeso y los filamentos bacterianos pueden "escurrirse" fuera de la vaina y formar envolturas nuevas. Por esto, a menudo se encuentran vainas vacías entre los filamentos vivos.

Además de estos organismos, morfológicamente muy característicos, parecen existir algunas eubacterias que oxidan el fierro, y que pertenecen en su mayor parte a la familia de las Siderocapsaceae; también incluyen, además de autótrofos, bacterias heterótrofas que sólo tienen en común con las bacterias propias del fierro, cápsulas mucilaginosas incrustadas con fierro.

Las bacterias del fierro normalmente requieren para su crecimiento, de sales ferrosas, oxígeno y dióxido de carbono. Cuando todo esto está presente y la reacción es alcalina, la oxidación puramente inorgánica de fierro ferroso a férrico se lleva a cabo fácilmente. Así, tanto la oxidación biológica como la química pueden ocurrir al mismo tiempo.

Ahora bien, mientras que los precipitados de fierro en aguas ácidas deben atribuirse casi siempre a la actividad de las bacterias del fierro, esto sólo es parcialmente cierto en aguas neutras o alcalinas. Esta coexistencia de la precipitación biológica y química del fierro es, con seguridad, la razón por la cual el papel de las bacterias del hierro en el ciclo de la materia en la

naturaleza es aún un tema abierto. Consideradas como grupo, aún conocemos muy poco de las bacterias del fierro, aunque han despertado el interés de eminentes científicos una y otra vez (Ehrenberg, Winogradsky, Chlodny y otros).

Por otro lado, existen bacterias que pueden utilizar manganeso en lugar de fierro y, de una manera muy análoga, oxidar los compuestos manganesos a mangánicos. Sin embargo, este proceso es mucho más raro en la naturaleza, pues el manganeso es menos común que el fierro.

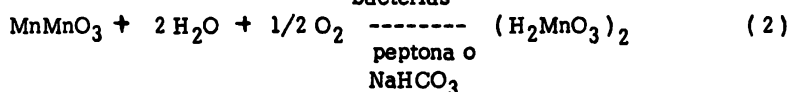
A pesar de esto, numerosos reportes han indicado que existen bacterias asociadas a los nódulos de manganeso del océano Atlántico y que dichas bacterias aceleran la acreción del manganeso a dichos nódulos y a otros óxidos de manganeso.

Se ha inferido a partir de experimentos de laboratorio, que en este proceso, el ión Mn^{2+} es primero adsorbido en la superficie de algún óxido de manganeso preexistente y que las bacterias localizadas sobre el óxido, oxidan el ión Mn^{2+} adsorbido para que pase a formar parte del óxido de manganeso. Esta reacción crea nuevos sitios de adsorción para el Mn^{2+} , que a su vez puede ser oxidado bacteriológicamente.

En el laboratorio, la velocidad de la oxidación bacteriana del manganeso puede estimarse cuantitativamente, midiendo la pérdida del Mn^{2+} de la solución, ya que este pasa a óxido de manganeso insoluble en presencia y ausencia de bacterias vivas. En tales experimentos, se pierde más Mn^{2+} sobre el adsorbente con bacterias activas que sin ellas.

Las reacciones que describen el proceso de la acreción del manganeso, llevada a cabo por Arthrobacter 37 (13) y probablemente por otros oxi-

dadores marinos del manganeso, pueden ser las siguientes:



La reacción (1) ilustra la adsorción no biológica y la reacción (2) ilustra el paso de oxidación biológica. Sin embargo, ambas son sólo toscas aproximaciones de la acreción del manganeso a los nódulos u otros óxidos de manganeso. No predicen que los óxidos de fierro y manganeso, como los que se encuentran en los nódulos o en preparaciones sintéticas, son mejores substratos adsorbentes que los simples óxidos de manganeso hídricos o pirolusita --- (MnO_2). Además, tampoco muestran como se incorpora el fierro a los nódulos de manganeso.

Esta oxidación del manganeso puede ser el resultado de una catálisis enzimática, biodegradación de quelatos de manganeso seguida por autooxidación del Mn^{2+} liberado o autooxidación del Mn^{2+} debido a condiciones más favorables de pH y Eh creados por las bacterias (13).

CAPITULO VIII

LOS MICROORGANISMOS Y LA CONTAMINACION DEL AGUA

8.1 INTRODUCCION

La microflora de las aguas, tanto marinas como dulces se ve afectada por los desechos y aguas negras, de muchas formas. Particularmente con las aguas negras domésticas, muchos organismos entran en los ríos, lagos y aguas costeras. Además, hay grandes cantidades de nutrientes orgánicos e inorgánicos que provocan un desarrollo masivo de hongos y bacterias. Por otro lado, la microflora a menudo es inhibida e incluso destruida por sustancias venenosas. Con las aguas negras, también llegan a los cuerpos de agua naturales, bacterias y mohos patógenos que pueden provocar epidemias.

Mediante el desdoblamiento de los desechos orgánicos, los microorganismos contribuyen decisivamente a la autpurificación natural de las aguas, incluso de las aguas negras. Durante estos procesos la concentración de los nutrientes orgánicos disminuye tanto, que eventualmente el contenido bacteriano del agua decrece en forma proporcional.

8.2 PATOGENOS EN EL AGUA

Las bacterias y hongos patógenos para el hombre entran a las aguas principalmente con las aguas negras domésticas. No pueden permanecer permanentemente en ellas y mueren, sobre todo en el mar y eventualmente en las aguas del interior; pero dependiendo de la clase de agua y de las condiciones prevalecientes, diferentes patógenos pueden sobrevivir un cierto período durante el cual permanen-

cen virulentos; de aquí que lagos, ríos y regiones marinas contaminadas con aguas negras puedan ser peligrosas fuentes de infección.

Particularmente frecuentes en las aguas contaminadas son los patógenos intestinales como Salmonella typhi y S. paratyphi, que provocan fiebre entérica. Sin embargo, las infecciones por Salmonella pueden ser causadas, no sólo por el agua como tal, sino también por la ingestión de ostras u otros mariscos provenientes de aguas contaminadas con aguas negras. Menos frecuente es Shigella que provoca la disentería bacteriana. La presencia de organismos específicos como Escherichia coli, ha sido interpretada como un indicador del peligro potencial de patógenos entéricos, que incluyen a los anteriores organismos. En países tropicales Vibrio parahaemolyticus y Vibrio cholerae se encuentran en forma natural en aguas salobres y ambientes estuarinos, por lo que a menudo son distribuidos por contaminación hídrica. Se ha encontrado que la distribución de Vibrio parahaemolyticus está asociada, en bahías y estuarios, a los crustáceos. Por otro lado, V. cholerae se ha encontrado en las aguas salobres de la bahía de Chesapeake, pero no se ha encontrado una relación significativa entre la incidencia de Vibrio cholerae simultáneamente con Escherichia coli, organismo indicador generalmente aceptado, u otros indicadores fecales; esto, junto con la ocurrencia natural de V. cholerae y vibriones relacionados en el medio ambiente marino, sugiere que la presencia de estos organismos no es un indicador de la contaminación fecal de áreas costeras.

Así mismo, en aguas tropicales pueden demostrarse esporas de - Clostridia, particularmente de los que causan la gangrena gaseosa, como son Cl. perfringens, Cl. norvici y Cl. septicum; éstas pueden permanecer viables en

los sedimentos por períodos relativamente largos. Aunque el Dr. W. Scott de -- C.S.I.R.O. (Consejo para Investigación Científica e Industrial) en Ryde, Australia, encontró Clostridium botulinum en lodos marinos, los organismos aislados fueron tipo B y no tipo E, siendo este último el tipo normalmente asociado con los productos marinos tóxicos. El aislamiento de Cl. botulinum tipo E, sin embargo, ha sido reportado a partir de peces por varios autores. El organismo aislado por Scott es patógeno para los animales de laboratorio, pero es excepcionalmente termolábil.

La contaminación de mariscos por bacterias patógenas al hombre es mucho más seria que la de los animales nadadores. La razón es que las bacterias forman parte de la dieta de los crustáceos, de manera que un buen número de bacterias vivas pueden aislarse de ellos. Además, los crustáceos normalmente se comen enteros y a veces crudos, de manera que el peligro de infección, especialmente por bacterias intestinales, es grande. En general podemos decir que las bacterias marinas no son patógenas por sí mismas, sino por las toxinas que producen sobre los alimentos.

De los hongos patógenos, los más abundantes en las aguas contaminadas son la levadura Cándida albicans y otros organismos relacionados, así como los dermatofitos y otros organismos pertenecientes a Fungi Imperfecti, que provocan infecciones cutáneas; también pueden encontrarse algunas especies de Trichophyton en la arena de las playas de recreo.

Además de los hongos y bacterias, las aguas negras domésticas contienen numerosos virus patógenos humanos, los cuales permanecen virulentos por algún tiempo en estos ambientes. Se ha dicho repetidamente que el agua contami-

nada ha provocado infecciones con el virus de la poliomielitis. En general, los virus entéricos patógenos al hombre (poliovirus, adenovirus, virus de la hepatitis infecciosa, etc.) normalmente se encuentran en las aguas negras domésticas y de ellos, sobrevive un número cuantitativamente significativo aún después de un tratamiento secundario convencional, incluyendo cloración. También pueden sobrevivir en el agua de mar y sedimentos marinos desde por unos días hasta por varias semanas (60). Las infecciones intestinales virales son mucho más frecuentes después de la ingestión de aguas contaminadas, particularmente en el verano.

Tales infecciones se presentan una y otra vez en las albercas al aire libre contaminadas; frecuentemente son causadas por virus Coxsackie o Echo los cuales se encuentran regularmente en las aguas negras durante la temporada cálida del año. Ciertos virus de la hepatitis también pueden ser transmitidos por aguas contaminadas; tales casos ocurren ocasionalmente después del consumo de mejillones crudos que provienen de aguas dulces contaminadas con aguas negras o de otros mariscos de zonas marinas contaminadas por la descarga cercana de dichas aguas negras.

El tiempo de supervivencia para la mayoría de las bacterias patógenas en lagos y ríos de agua dulce es mayor que en el mar, ya que el agua de mar parece tener un efecto bactericida; desde 1889 De Giaksa demostró que las bacterias entéricas perecen rápidamente en el agua de mar; ZoBell demostró, en 1936, que la microflora de las aguas negras muere más rápidamente en el agua de mar natural que en el agua de mar sintética filtradas o esterilizadas en autoclave.

Dawe y Penrose (9) observaron que cerca de la salida de las -

aguas negras al océano, la disminución de las cuentas de coliformes es mucho mayor de la que podría atribuirse a la dilución. Como ya se mencionó, algunos estudios de hace varias décadas, confirman que, el agua de mar provoca una dramática reducción en las cuentas de coliformes, aunque no se ha logrado hasta ahora, definir que característica (s) del agua de mar le confiere (n) esta propiedad.

Por otro lado, se considera que esta reducción en las cuentas de coliformes, se debe solamente a que son inhibidos o debilitados por el agua de mar, pero no destruidos, ya que aunque no pueden desarrollarse en medios selectivos, se pueden recuperar y desarrollar en agar nutritivo, preparado con agua de mar.

Este debilitamiento de los coliformes, definido como la incapacidad de las células vivas para crecer en medios de diagnóstico (también recibe el nombre de "daño" o "stress"), se ha observado en alimentos congelados, en aguas negras cloradas, en aguas dulces y en algunas muestras marinas. En zonas costeras y estuarinas, donde las mediciones se complican por la continua entrada de coliformes no debilitados provenientes de los ríos, la pérdida de viabilidad en medio selectivo varía de una a siete veces. En los sistemas en estado estable (sin movimientos de entrada y salida de agua) como las plantas de tratamiento de aguas, se detectan mucho mayores proporciones de bacterias dañadas.

Bissonnette y colaboradores (1) separaron coliformes mediante filtros de membrana y luego los suspendieron en agua dulce; en casi todas las muestras que tuvieron bacterias "normales" (no dañadas), se encontró también una significativa proporción de células debilitadas. En las muestras con células dañadas o debilitadas (es decir las que no crecen en medios selectivos) se en-

contró una escasa proporción de sobrevivientes (es decir, células que se desarrollan en agar nutritivo con agua de mar) que varió del 0.1 al 15%. En contraste, Dawe y Penrose observaron que en el agua de mar, la proporción de daño es mayor, pero la supervivencia es también muy alta (9).

Si se demuestra que este fenómeno ocurre en forma general bajo otras condiciones oceanográficas y en otros ambientes de laboratorio, se podrá concluir que el agua de mar protege a las células debilitadas, de la muerte (9), Si esto es cierto, las propiedades bactericidas del agua de mar, comunmente aceptadas, deben reevaluarse.

Por otro lado, el tiempo de supervivencia de las células debilitadas es mayor en los sedimentos que en el agua libre, pero en los sedimentos marinos este tiempo es menor que en las aguas dulces. Por esto, el peligro de infección durante los baños sólo existe normalmente en la vecindad inmediata de las entradas de las aguas negras, aunque el peligro de infección a través de partículas flotantes, como son pedazos pequeños de carne o pescado soltados por las aves, se extiende a grandes distancias dado que tales materiales proteínicos protegen notablemente a los patógenos contra el efecto bactericida (o bacteriostático) del agua de mar, e incluso pueden multiplicarse en dichas partículas.

3.3 EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN LA AUTOPURIFICACION DEL AGUA

La mayoría de los ríos, lagos y algunas partes del mar están continuamente expuestas a la contaminación por desperdicios y aguas negras; de aquí que la autopurificación natural de las aguas sea extremadamente importante. Los

procesos físicos y químicos como la sedimentación y la oxidación desempeñan un importante papel, pero el papel decisivo debe atribuirse a los procesos biológicos.

Numerosas criaturas vivientes toman parte en estos procesos, desde aves y peces hasta los microorganismos. En los lugares en los que se descargan las aguas negras domésticas no purificadas, numerosas gaviotas y otras aves marinas recogen, y los peces cobran, las piezas más grandes, aunque en general sólo pueden emplear como alimento una pequeña fracción del material contaminante. Es mayor la importancia de los animales inferiores, particularmente diferentes larvas de insectos, gusanos y protozoarios que ingieren partículas más pequeñas.

✱ El papel decisivo lo desempeñan bacterias y hongos, ya que pueden descomponer compuestos orgánicos, tanto los que se encuentran en forma sólida como los solubles; bajo las condiciones más favorables, la descomposición puede llegar hasta los componentes más sencillos de la materia orgánica: dióxido de carbono, agua y sales inorgánicas. En tales casos, se logra la completa mineralización de muchos contaminantes orgánicos. Las proteínas, los azúcares y el almidón son descompuestos con gran rapidez; las grasas, ceras, celulosa y lignina se degradan mucho más lentamente y a veces en forma incompleta. ✱

Con el progreso de la autopurificación, la población microbiana cambia. Así, donde la contaminación se debe a aguas negras domésticas, la proporción de bacterias proteolíticas disminuye gradualmente y la de los organismos que descomponen la celulosa se incrementa.

Las aguas difieren bastante en su poder de autopurificación. Este es mayor donde el movimiento enérgico del agua provoca una rápida distribución de las aguas negras y un activo intercambio de gases con la atmósfera; una eficaz -

descomposición de los contaminantes sólo es posible en presencia de oxígeno, el cual debe ser repuesto continuamente. Estas condiciones se presentan en la mayoría de los ríos y arroyos y en las aguas costeras con pronunciados movimientos de marea o vigorosas corrientes debidas al viento. En las aguas con poco movimiento, las aguas negras pueden estancarse y la escasez de oxígeno conduce a un colapso de la autpurificación.

El poder de autpurificación también varía con la época del año, siendo mayor en verano que en invierno. Existen dos razones para esto: la primera es que la actividad bacteriana aumenta, debido a las mayores temperaturas del agua en el verano y la segunda es que con mayor intensidad de luz, el fitoplancton suministra más oxígeno. La mayor actividad metabólica de la mayoría de los microorganismos durante el verano provoca que los nutrimentos suministrados por las aguas negras, se utilicen mucho más rápidamente. Esto a su vez, conduce a un decremento del número de bacterias.

Hacia el final de la temporada cálida, en las aguas de mar contaminadas puede observarse una disminución en el número de saprófitos, por ejemplo en las áreas de las grandes bahías. Sin embargo, las variaciones estacionales en el número de saprófitos de las aguas contaminadas con aguas negras no se deben solamente a los cambios en las condiciones nutritivas; también influyen otros factores como: la autólisis de bacterias y hongos, acelerada por las temperaturas altas; la mayor ingestión de bacterias por los protozoarios, y en algunos lugares, cierto efecto bactericida, debido a la fuerte luz diurna. De todas formas, las aguas cálidas de los trópicos muestran una autpurificación más rápida que las aguas frías del ártico.

Aún bajo condiciones favorables de temperatura y suministro de oxígeno, la descomposición de los contaminantes orgánicos en el mar se lleva a cabo más lentamente que en las aguas interiores. La autopurificación de las aguas de mar contaminadas con aguas negras domésticas se lleva el doble de tiempo que el agua dulce comparable. Esto se debe, en su mayor parte, a la acción inhibitoria del agua de mar sobre muchas bacterias no marinas. A medida que las aguas negras fluyen dentro del mar, la mayoría de las bacterias que aquellas llevan, mueren rápidamente y se desarrolla una nueva flora, predominantemente marina, que es la responsable de la remineralización de los contaminantes orgánicos (37) Este proceso, por supuesto, requiere tiempo. Además, el hecho de que muchas bacterias marinas tengan una menor actividad metabólica que las correspondientes bacterias de agua dulce tiene una gran repercusión en el tiempo requerido para la autopurificación.

Sin embargo, la autopurificación natural funciona sólo bajo condiciones en las que la composición y cantidad de contaminantes no sobrepase el poder de autopurificación del cuerpo de agua que los recibe. Frecuentemente, en tran a las aguas muchos más desperdicios y aguas negras de los que se pueden procesar bajo las condiciones más favorables.

También se presentan disturbios en los procesos de autopurificación cuando se introducen directamente sustancias venenosas, que entran al agua con las aguas negras y desperdicios de las plantas industriales y que provocan la muerte de los organismos involucrados en los procesos de remineralización. Esto sucede particularmente con compuestos de metales pesados, cianuros y venenos orgánicos.

En la purificación de las aguas negras de la industria química y de los hospitales, que contienen fenol, algunos microorganismos como Nocardia rubra juegan un papel de gran importancia ya que durante la temporada de calor, provocan un rápido desdoblamiento de los fenoles presentes en el agua. Si se aplican los adecuados procedimientos técnicos, no sólo los fenoles uni y polivalentes, sino también los fenoles condensados, cresoles, cianuros, rodaminas y formaldehído pueden ser descompuestos.

8.4 EFECTO DE LOS CONTAMINANTES AMBIENTALES SOBRE LOS MICROORGANISMOS MARINOS

Es de aceptación general el hecho de que muchos contaminantes, en especial el DDT y los bifenilos policlorinados (PCB's), tienen como principal vía de distribución a la atmósfera. Esta conclusión está basada en datos sobre la distribución de sus concentraciones entre una amplia variedad de biotas - conjunto de seres vivos que habitan un medio ambiente - de mar abierto, de la manera en que estas distribuciones cambian geográficamente y de los conocimientos de su química y geoquímica. Este hecho sugiere que contaminantes como el DDT y los PCB's pueden alcanzar niveles que dañan la biota del mar abierto sin que, necesariamente afecten antes a las biotas de las aguas costeras. Esta predicción es de gran interés respecto a la posición de la mayoría de los organismos del mar abierto, y de aquellos otros cuya historia vital incluye fases larvarias pelágicas, ya que en estas fases es en las que son más susceptibles al efecto de estos contaminantes. Especialmente se cree, que se debe dar una gran atención a las bac-

terias marinas, el fitoplancton y los protozoarios planctónicos, que forman las bases de las cadenas alimenticias de los océanos, por las siguientes razones:

a) Si estas poblaciones fueran seriamente interferidas, el océano como sistema geológico geoquímico, casi con certeza, cambiaría en todas sus propiedades.

b) La naturaleza fisicoquímica del DDT y de los PCB's, acoplada con las propiedades de actividad superficial de la mayoría de estos microorganismos, conduce a la suposición de que estos deben sufrir fuertes exposiciones a los contaminantes.

c) Muchos de estos organismos son difíciles de cultivar y por lo tanto, de estudiar experimentalmente. Su pequeño tamaño parece hacer imposible la evaluación analítica de la carga de contaminantes químicos sobre su cuerpo. Debido a esta dificultad para evaluar el impacto de los contaminantes químicos en estas especies, el problema está en peligro de ser despreciado a pesar de su importancia.

Recientemente se ha demostrado que el DDT se une a la lecitina, un componente principal de los sistemas membranosos de las células. Las interacciones entre tales sistemas de membranas, como las mitocondrias y los cloroplastos, con los hidrocarburos clorinados puede provocar serias alteraciones en los microorganismos.

De un interés particular es la interacción del DDT con la membrana celular. Se ha demostrado que el DDT inhibe la K - Na - Mg - adenosin trifosfatasa (ATPasa) y como estas enzimas intervienen en los procesos osmoreguladores, un efecto del DDT y otros hidrocarburos clorinados es la inhibición del trans

porte de sodio a través de las membranas. Además, estos contaminantes también han sido implicados en la inhibición de enzimas que contienen grupos SH^- y en la inhibición del sistema de transporte de electrones (36).

De una gran importancia es la observación de que la fotosíntesis del fitoplancton marino es afectada por concentraciones muy bajas de DDT. Se han demostrado disminuciones significativas en la fijación de $^{14}\text{CO}_2$, en presencia de concentraciones de DDT, tan bajas como 1-2 ppb, en cultivos de organismos del fitoplancton, con un número de células parecido a la población natural. Se obtuvieron resultados similares en una población natural bajo idénticas condiciones experimentales. El rango de concentraciones de DDT usadas (1-100 ppb) fue reportado como similar al encontrado en algunas aguas costeras. Estos experimentos subrayan los efectos subletales de ciertos contaminantes. La reducción en la fotosíntesis es un efecto tóxico que finalmente puede alterar el balance de especies de una comunidad planctónica. Esto a su vez puede conducir a la proliferación selectiva de ciertas especies y llevar a periódicas "explosiones" de algas acompañados por eutroficación de la masa de agua. Estos cambios en la naturaleza cualitativa del fitoplancton pueden traer consigo alteraciones en el balance de los consumidores primarios y secundarios (3).

En su reporte a la Academia Nacional de Ciencias en 1971, el equipo de Investigación sobre Pesticidas Persistentes en el Ambiente Marino concluyó que: "los océanos son el último sitio de acumulación de los persistentes hidrocarburos clorinados" y que "cerca del 25% de los compuestos de DDT producidos a la fecha pueden haber sido transferidos al mar". Sabemos ahora que la concentración de DDT en las manchas superficiales puede llegar a 3.4 ppb. Ciertamente,

estos niveles de concentración son lo suficientemente altos como para esperar que tengan algún efecto sobre la población de los microorganismos asociados con las aguas superficiales del mar abierto, especialmente las bacterias que forman pellculas y los hongos.

CAPITULO IX

LOS MICROORGANISMOS MARINOS Y EL PETROLEO

Como todos sabemos, durante los últimos años el petróleo ha tenido un gran auge, que ha provocado que la exploración y explotación de pozos petroleros tanto en tierra como en el mar se haya incrementado enormemente. Dicha explotación ha tenido como consecuencia que grandes extensiones marítimas se vean contaminadas con petróleo. Además, números cada vez mayores de buques-tanque transportan el petróleo crudo desde las áreas de producción hasta las refineras que se encuentran bastante alejadas. Con la creciente demanda por los combustibles del petróleo, el tamaño de estos buques-tanque también se ha incrementado.

Las pérdidas de petróleo desde los buques-tanque por causa de naufragios, colisiones y derrames accidentales constituye ahora una característica importante de la contaminación marina.

El petróleo crudo es una mezcla compleja, variable en su composición. Cuando se dispersa en el agua, algunas fracciones de él se evaporan. Dicha pérdida de material por evaporación da como resultado una emulsión estable de agua en petróleo, que flota en la superficie.

Los derrames de petróleo en el mar parecen tener poco efecto sobre el plancton. El zooplancton es menos dañado que el fitoplancton. Ciertas diatomeas como Ditylum brightwellii, Coscinodiscus granii ó Cleatocerus aerivisetus son sensibles a 100 ppm de keroseno y aceite combustible. Otras especies (Grammatophora marina, Meliorisa moniliformis) toleran concentraciones del 1%.

Los componentes tóxicos del petróleo crudo incluyen fenoles solubles en agua e hidrocarburos aromáticos volátiles; ambos constituyen la mayor parte del petróleo crudo perdido por evaporación.

Los emulsificadores que normalmente se usan para combatir la contaminación por petróleo, convierten la emulsión viscosa de agua en petróleo, en una emulsión lechosa de petróleo en agua. La experiencia ha demostrado que los emulsificantes empleados son sumamente tóxicos para muchas plantas y animales intertidales. Lejos de las regiones costeras se han observado algunos efectos dañinos sobre el fitoplancton, principalmente en los flagelados verdes de las Prasinophyceae, y en algunas diatomeas y dinoflagelados. Algunos flagelados incoloros (incluyendo miembros de la Cryptophyceae) cultivados en condiciones de laboratorio, han crecido en agua de mar con algunas cantidades de los emulsificadores tóxicos perjudiciales para otros organismos. Los microorganismos desempeñan un papel importante en la purificación de las aguas contaminadas con petróleo, acumulándose en ellas, bacterias que degradan hidrocarburos, y hongos.

Los componentes hidrosolubles del petróleo son desdoblados muy rápidamente por los microorganismos, pero las manchas de petróleo sólo pueden ser atacadas desde la superficie; las bacterias pueden penetrar en el petróleo pero, aparentemente no pueden reproducirse ahí. Sólo películas delgadas de petróleo desaparecen rápidamente. En las aguas contaminadas con petróleo, particularmente cerca de los puertos, los organismos que descomponen el petróleo son muy numerosos en el verano; es más, son muy activos a temperaturas altas del agua, aunque su actividad no depende solamente de la temperatura del agua, sino también de la concentración de nutrientes inorgánicos, en especial fósforo y nitrógeno.

Las capas más gruesas de petróleo, sobre todo aquellas que son el resultado de las catástrofes de los buques-tanque, son desdobladas muy lentamente.

te por los microorganismos de la superficie; de aquí que su importancia en los casos de contaminación con petróleo a gran escala, sea pequeña.

El petróleo crudo se altera rápidamente en el mar, principalmente debido a procesos físicos. En los primeros 8-14 días, los componentes más ligeros se volatilizan de manera que los que quedan son sólo aquellos poco volátiles y que se combinan con el agua del mar para formar una suspensión pulposa de color café.

Esta contiene cerca de un 23% de petróleo pesado, 4% de sólidos y 73% de agua de mar, y después de varias semanas se hunde hasta el fondo. La formación de esta suspensión aumenta la oportunidad de un ataque bacteriano. Por esta razón, frecuentemente se han usado emulsificadores artificiales en la lucha contra la contaminación con petróleo pero estos son, en su mayoría, venenosos para muchos organismos acuáticos y por ello, a menudo provocan más daño que el propio petróleo. Algunas de estas sustancias inhiben el crecimiento bacteriano y, como resultado, en lugar de ayudar a la descomposición bacteriana del petróleo, la impiden. Esto ha impulsado a la industria química a tratar de desarrollar emulsificantes no tóxicos.

Después de que las manchas de petróleo se han hundido, a menudo se vuelven resinosas, lo que hace prácticamente imposible la colonización de dicho material, de manera que no puede llevarse a cabo una degradación microbiana posterior.

Finalmente, el petróleo alcanza las playas y bancos, en cantidades variables. Aquí es cubierto con arena y las bacterias y hongos que lo descomponen se acumulan rápidamente. En los lugares en que el petróleo está bien mezclado con la arena, el rompimiento procede muy rápidamente, al menos durante la temporada de calor; pero cuando el petróleo se ha vuelto resinoso y forma grandes costras y

todo

masas suele permanecer inmutable incluso durante años.

Bajo condiciones naturales, varias especies de bacterias y hongos intervienen con la descomposición microbiana del petróleo. Algunos microorganismos están especializados en ciertas fracciones, en tanto que otros viven de productos intermedios. No obstante, raras veces, el petróleo crudo es remineralizado por completo.

Bajo condiciones anaerobias la descomposición de petróleo se debe principalmente a Desulphovibrio desulphuricans, siempre que haya suficientes sulfatos.

Ahora bien, los resultados de los cultivos experimentales sugieren que existen varias limitaciones para la degradación microbiana de los hidrocarburos del petróleo:

- 1) Escasez de nutrientes (nitrógeno y fósforo)
- 2) Las bajas temperaturas del agua oceánica.
- 3) Incapacidad de los compuestos de carbono para promover una co-oxidación, ya que mediante la co-oxidación se ha encontrado que los microorganismos llevan a cabo una mayor biodegradación de los hidrocarburos. Esto es, que la presencia de un compuesto co-oxidable promueve la degradación de los hidrocarburos.
- 4) Inhibición de la degradación de hidrocarburos por ácidos grasos extracelulares.
- 5) Otros componentes químicos del petróleo.

La limitación de nutrimentos puede ser poco significativa en los estuarios, como por ejemplo, en la bahía de Chesapeake (en E.E.U.U.), en la cual

se han realizado numerosos experimentos relacionados con la degradación microbiana del petróleo se han observado, que los microorganismos de esa bahía son capaces de degradar entre un 5 y un 80% de una mezcla total de hidrocarburos del petróleo, cuando se cultivan en el laboratorio con agua de la bahía de Chesapeake. Los factores significativos que controlan la degradación son la temperatura de incubación, la fuente del inóculo, la zona y profundidad de la bahía de donde se tomó la muestra y el tipo de petróleo sujeto a degradación (49).

Como se mencionó, se ha sugerido que el agua de mar contiene concentraciones de fosfatos y nitratos demasiado bajas como para promover una degradación significativa del petróleo por las bacterias nativas. Sin embargo, J.D. Walker y col. (49) usaron en sus experimentos una cantidad de hidrocarburos proporcional al nitrato presente en el agua de mar, usada como medio para el cultivo de bacterias del sedimento, y se presentó una degradación que varía del 4 al 65% de hidrocarburos.

El potencial microbiano para degradar cantidades significativas de petróleo puede existir en cualquier muestra de sedimento marino o de agua de mar, pero este potencial puede ser reprimido por constituyentes hidrocarbonados específicos y las combinaciones de tales componentes comprendidos en los diversos petróleos.

Otros factores que pueden influir en gran medida en la degradación microbiana de hidrocarburos del petróleo por bacterias oceánicas son: la concen
tración de materia orgánica en los sedimentos, los pesticidas y los metales pesa
dos como el mercurio, que pueden concentrarse en el petróleo. La influencia de
estos factores en la degradación microbiana del petróleo en el medio ambiente ma

rino debe ser estudiada con más detalle para comprender el efecto ecológico de dicho fenómeno.

Por otro lado, a partir del gran número de reportes que describen las propiedades de los cultivos bacterianos puros y mixtos, capaces de degradar y dispersar el petróleo crudo en el agua de mar, pueden derivarse al menos tres generalizaciones:

Primero, en todos los casos y como ya se mencionó, la habilidad de las bacterias para degradar significativamente el petróleo en el agua de mar depende de la adición de una fuente exógena de nitrógeno y fósforo al cultivo.

Segundo, los alcanos normales de bajo peso molecular son degradados con mucha mayor rapidez, tanto en el laboratorio como después de los derrames de petróleo en alta mar.

Tercero, los cultivos mixtos llevan a cabo una degradación más extensa que los cultivos puros (18).

Los géneros de bacterias que llevan a cabo la degradación del petróleo son muy variados, y diversos autores nombran a diferentes clases de bacterias. Así, J.D. Walker y col. (49) encontraron que en más de la mitad de las cepas bacterianas en cultivos puros fueron identificadas como Pseudomonas sp. Los aislamientos obtenidos a partir de cultivos inoculados con sedimentos incluían Pseudomonas y Acinetobacter sp. Una especie de Flavobacterium se aisló de cultivos de agua de mar más hidrocarburos, inoculados con sedimento, mientras que las dos anteriores estaban presentes en cultivos de agua de mar con y sin hidrocarburos.

El mismo autor encontró (50) Vibrio, Pseudomonas y Acinetobacter

sp. en cultivos inoculados con sedimento contaminado con petróleo, mientras que Corinebacteroides y Pseudomonas sp. fueron aisladas de cultivos inoculados con sedimentos libres de petróleo.

Horowitz y col. (18) modificando la técnica de enriquecimiento de cultivos en los cuales los componentes del petróleo crudo eran secuencialmente re movidos y el petróleo que quedaba era usado como sustrato para subsecuentes pro cedimientos de enriquecimiento, logró [aislar tres cepas bacterianas degradado ras del petróleo a las que llamó UP-2, UP-3 y UP-4. Estas bacterias difieren en sus características de crecimiento unas de otras y de un Arthrobacter previamente aislado, que también degrada el petróleo. La cepa UP-2 parece ser la más específicamente adaptada al crecimiento sobre petróleo en agua de mar, ya que prefiere una amplia variedad de componentes del petróleo o productos de degradación del mismo como sustratos para crecimiento en medios complejos, como son el caldo nutritivo y extracto de levadura, azúcares, aminoácidos y otros materiales orgánicos probados. Las cepas UP-3 y UP-4 muestran un amplio rango de sustratos utili zables, lo cual puede explicar su habilidad para multiplicarse sobre petróleo degra dado por Up-2 y Arthrobacter.

Los microorganismos pueden utilizar petróleo crudo como sustrato para crecer, con o sin emulsificación concomitante. Aunque ha habido algunos intentos para caracterizar los agentes emulsificantes, las preparaciones no han sido purificadas lo suficiente como para identificar los componentes activos. Como la cepa UP-2 parece ser la más específicamente adaptada al crecimiento en petróleo, se realizaron exámenes microscópicos preliminares del cultivo a través del ciclo de crecimiento. Dichas onservaciones condujeron a Horowitz y col. (18) a la hi-

pótesis de que la emulsificación del petróleo es una parte integral del ciclo de crecimiento de ciertos microorganismos. Aun a bajas concentraciones, las UP-2 se unen fuertemente a las gotitas de petróleo fresco. Luego, las células se multiplican sobre la superficie del petróleo, formando pequeñas colonias; durante el crecimiento exponencial, las bacterias producen agente(s) dispersante(s) que rompen las gotitas de petróleo en unidades más pequeñas, produciendo así una mayor área de superficie, necesaria para la creciente población.

En general no se han hecho estudios para determinar si la capacidad de los microorganismos para degradar petróleo está correlacionada con la presencia de petróleo en el medio ambiente natural de dichos microorganismos, aunque, J.D. Walker y R.R. Colwell concluyeron que las poblaciones microbianas nativas de ambientes libres de petróleo y las de ambientes contaminados con este, responden en forma diferente a la exposición al petróleo, por ejemplo, cuando se presenta un derrame (50). Así, los microorganismos provenientes de sedimentos libres de petróleo producen mayores cantidades de compuestos insolubles de n-pentano polar (asfaltenos) después de la degradación, mientras que los organismos de sedimentos contaminados con petróleo llevan a cabo una degradación de hidrocarburos saturados y aromáticos.

[Además de las bacterias, muchos otros organismos como son hongos, levaduras y algunas algas degradan el petróleo; por ejemplo, Walker y col. (47) reportan que Prototheca zopfii, un alga aclorófila, puede degradar el petróleo. Se ha encontrado que degrada un 10 y un 40% de aceite combustible y de petróleo crudo respectivamente, bajo las condiciones apropiadas.]

Atlas y Bartha reportan un 57 y un 40% de utilización de petróleo

crudo sueco por Flavobacterium sp. y Brevibacterium sp. respectivamente, después de 12 días de crecimiento en agua de mar artificial a 28°C. ~~Reisfeld y col.~~ reportaron 35% de utilización de petróleo crudo iraní por una especie de Arthrobacter, después de 4 días en un medio de agua de mar, suplementado con nitratos y fosfatos e incubado a 32°C. Miget y col. reportaron 35 a 55% de utilización de petróleo crudo de Louisiana del Sur, por cinco cepas bacterianas, después de 60 horas en agua de mar suplementada con nitratos y fosfatos a 32°C. Cerniglia y Perry reportaron un 85 a un 92% de utilización de petróleo crudo con parafina base por los hongos Cunninghamella elegans y una especie de Penicillium, después de 10 días en agua de mar enriquecida con nitratos y fosfatos, a 30°C. A pesar de las diferencias entre las condiciones experimentales, P. zopfii utiliza tanto petróleo crudo como Brevibacterium, Arthrobacter y 3 de las 5 cepas de Miget y col. Sin embargo, los hongos aislados por Cerniglia y Perry son más eficientes al utilizar el petróleo crudo.

P. zopfii utiliza principalmente tipos específicos de hidrocarburos saturados y aromáticos del petróleo crudo y del aceite combustible. Su patrón de degradación del petróleo parece ser diferente del de las bacterias (47).

Otro punto que se ha estudiado poco es el potencial degradador de los microorganismos nativos del agua de mar en comparación con los de los sedimentos. Como el petróleo derramado en el ambiente marino alcanza la columna de agua y también el sedimento en los hábitats acuáticos poco profundos, especialmente debido al hundimiento del petróleo, es importante conocer el potencial biodegradativo comparado de las bacterias del agua y las de los sedimentos.

En el experimento llevado a cabo por J.D. Walker y col. (48), el

crecimiento bacteriano fue seguido de varias formas: por cuenta en placa, producción de emulsificación (absorbancia a 600 nm) y liberación de productos ácidos, (pH), a intervalos semanales. Al final de la investigación se encontró que las bacterias de muestras de agua producen una mayor emulsificación del petróleo que las de los sedimentos; sin embargo, estas últimas producen un pH menor, con lo cual podemos inferir que cada uno de estos tipos de bacterias metabolizan al petróleo en forma diferente.

Los resultados reportados por J.D. Walker y col. (48) sugieren claramente que las bacterias de la columna de agua poseen una mayor capacidad de degradación del petróleo crudo que las bacterias de los sedimentos.

Aunque las bacterias de los sedimentos degradan mayores cantidades de hidrocarburos saturados que los que se eliminan vía la acción de los agentes atmosféricos, las bacterias del agua degradan significativamente más cicloalcanos con anillos de 2-, 3-, 4-, 5- y 6- carbonos, que las bacterias del sedimento. Similarmente, se ha encontrado que los cicloalcanos se degradan en menor proporción a medida que aumenta el tamaño del anillo de 1 a 4 carbonos, pero a medida que el anillo se incrementa de 4 a 6 carbonos, los cicloalcanos son - más susceptibles a la degradación.

Además, se han encontrado (usando petróleo crudo de Louisiana del Sur), que las bacterias del agua son más efectivas que las del sedimento en la degradación de hidrocarburos aromáticos. Las bacterias del sedimento degradan monoaromáticos (11%), pentaaromáticos (25%) y aromáticos con azufre (9%), mientras que las bacterias de la columna de agua degradan 38, 52, 27, 17 y 50% de los mono, di, tri, tetra y pentaaromáticos respectivamente, pero no a los aro-

máticos sulfurados.

Pueden ofrecerse varias explicaciones posibles del por qué las bacterias de los sedimentos son menos efectivas para degradar los hidrocarburos que componen el petróleo crudo de Louisiana del Sur, que las bacterias del agua:

- a) En el sedimento existen menos clases de bacterias y por lo tanto, menor número de especies presentes en cultivos mixtos
- b) Anaerobiosis de los sedimentos
- c) Utilización preferente de los nutrientes de los sedimentos sobre los del petróleo.

Un hecho importante en la investigación de los microorganismos degradadores de petróleo es que el medio empleado para el aislamiento de dichos microorganismos tiene un efecto selectivo muy notable sobre la población bacteriana muestreada, es decir, que los géneros y especies de las bacterias aisladas estarán influidos por el tipo de medio empleado, ya sea líquido o sólido (5).

Entre los métodos estudiados para la enumeración de los microorganismos degradadores del petróleo, Mills y col. (27) concluyeron que el método del número más probable (NMP) es el método de elección. Un medio bien - amortiguado con una concentración razonablemente alta de sustrato proveerá, en la mayoría de los casos, resultados claramente interpretables como positivos o negativos en cuanto al crecimiento, el cual nos dirá si se trata o no de microorganismos degradadores del petróleo.

GLOSARIO

- AEROBIO.**- Organismo que viven en un medio que contiene oxígeno gaseoso, el cual usa como aceptor de hidrógenos.
- ANAEROBIO.**- Organismo que florece en ausencia de oxígeno y que usa otros aceptores de hidrógeno.
- AUXOTROFICO.**- Organismos que requieren de factores de crecimiento orgánicos.
- BENTOS.**- Organismos de la comunidad del sedimento.
- CIRCULACION TERMOHALINA.**- Movimientos del agua, casi siempre verticales, provocados por diferencias en temperatura y salinidad de las masas de agua.
- CLORINIDAD.**- Cantidad de cloruros presentes en el agua de mar (incluye a los demás haluros y se mide por titulación con nitrato de plata).
- COLODION.**- Disolución en eter de celulosa nítrica, se usa como aglutinante en cirugía y para la preparación de placas fotográficas.
- DETritus.**- Material orgánico particulado que está sólo parcialmente desintegrado.
- ENDOBIONTES.**- Parásitos que crecen por completo dentro del huésped.
- EPIBIONTES.**- Parásitos que viven en la superficie del huésped.
- EPIFITICO.**- Organismos que están unidos a las plantas.
- EPIPELICO.**- Organismos que viven en el fango.
- EPONTICO.**- Organismos fijos (Término general).
- EUTROFICO.**- Medio rico en nutrientes favorable al desarrollo del fitoplancton.
- FAGOTROFO.**- Organismos que obtienen sus nutrientes ingiriendo (y digiriendo) partículas orgánicas u organismos.
- FOTOAUTOTROFO.**- Organismo que obtiene su carbono usando energía luminosa; se considera normalmente que utiliza la luz para la fotosíntesis o fotoreducción del CO_2 para asimilarlo, aunque también puede usar otras reacciones pero con menor rendimiento de energía.
- FRISTULA.**- Esqueleto externo de algunas células
- HALOFILO.**- Organismo que crecen preferencialmente en salinidades altas.
- HETEROTROFO.**- Organismo que usa compuestos solubles de carbono orgánico como fuente de carbono, en lugar de CO_2 .
- INTERTIDAL.**- Zona comprendida entre el nivel máximo de la marea alta y el mínimo de la baja.
- LAMINARINA.**- Producto obtenido de algas, constituido por un tipo de fécula que puede ser un buen sustituto del plasma sanguíneo.
- LUMEN.**- Unidad de flujo luminoso.
- MEIOFAUNA.**- Término con el que se denomina a la fauna con un tamaño menor a 0.5 mm.
- METABIOSIS.**- Organismos del mismo hábitat que son metabólicamente independientes.
- NEUSTON.**- Todos los microorganismos (animales, vegetales y protistas) que viven en la capa más superficial del océano la cual tiene unos mm de espesor.
- NITRIFICACION.**- Proceso por el cual el amoníaco es oxidado hasta nitratos, por acción de ciertos microorganismos.
- OLIGOTROFICO.**- Término que se refiere a los cuerpos de agua que contienen bajas

concentraciones de nutrimentos.

PELAGICO.- Organismos que flotan y nadan en el mar.

PLANKTON.- Organismos suspendidos en el agua, incapaces de oponerse a una corriente.

PERIPLASTO.- Membranas celulares flexibles que poseen las algas móviles (Euglena).

PROFUNDIDAD DE COMPENSACION.- Profundidad a la cual la fotosíntesis provee la misma energía que se usa en la respiración.

PROFUNDIDAD CRITICA.- Profundidad a la cual la producción neta es cero. Se refiere a un cuerpo de agua y no a un organismo.

PUNTO DE COMPENSACION.- La intensidad de luz a la cual la asimilación fotosintética iguala a la pérdida por respiración.

QUIMIOAUTOTROFO.- Organismo que obtiene su energía de reacciones químicas independientes de la luz en un ambiente orgánico.

SAPROFITOS.- Organismos que obtienen sus nutrientes de materia orgánica muerta.

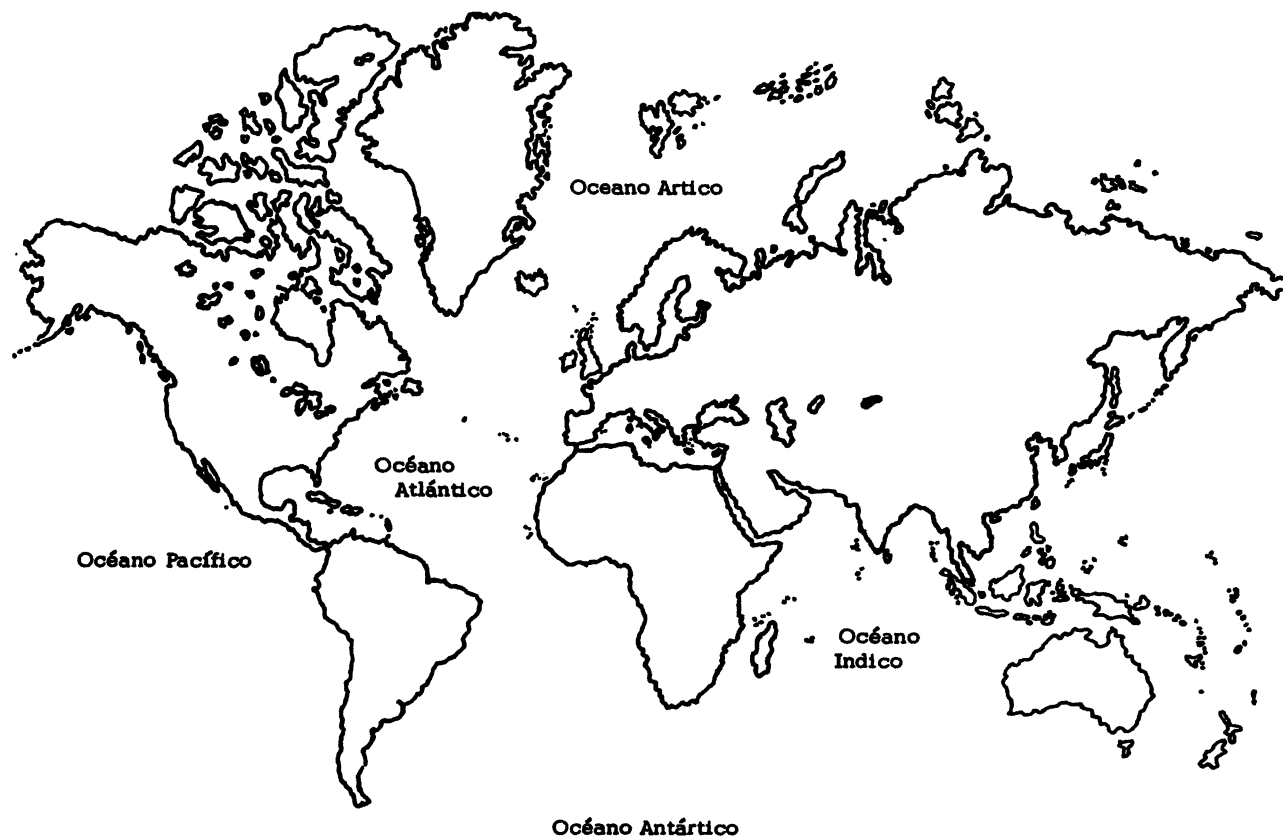
SESTON.- Material suspendido en el océano.

SEILES.- Animales que pasan toda o parte de su vida fijos al suelo.

TERMOCLINA.- Profundidad donde hay una fuerte diferencia de temperaturas entre dos masas de agua.

TRICOMAS.- Excreción epidérmica de los vegetales, que comprende pelos, papilas y escamas.





BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bissonnette, G.K., J.J. Jezeski, G.A. McFeters y D.G. Stuart
"Influence of Environmental Stress on Enumeration of Indicator Bacteria from Natural Waters".
Appl. Microbiol. 29: 186-194, 1975
- 2.- ~~Bold, Harold C. and J.M. Wynne~~
"Introduction to the Algae: Structure and Reproduction".
Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, New Jersey, 1978
- 3.- Boney, A.D.
"Phytoplankton".
Studies in Biology # 52
Edward Arnold (Publishers) Limited
London, 1975
- 4.- Buck, John D. and R.C. Cleverdon
"The Spread Plate as a Method for the Enumeration of Marine Bacteria".
Limnol. Oceanogr. 5 (1), 78-80, (1960)
- 5.- Calomiris, J.J., B. Austin, J.D. Walker and R.R. Colwell
"Enrichment for Estuarine Petroleum-Degrading Bacteria Using Liquid and Solid Media"
J. Appl. Bacteriol. 42 (1): 135-144, 1977
- 6.- Carlucci, A.F. and D. Pramer
"Factors Influencing the Plate Method for Determining Abundance of Bacteria in Sea Water"
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 96: 392- 394, 1957
- 7.- Carlucci, A.F.
"Nutrients and Microbial Response To Nutrients in Seawater"
"Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita eds.
University Park Press, Baltimore, London, Tokyo
1972
pag. 495-509
- 8.- Cronquist, Arthur
"Introducción a la Botánica"
Co. Editorial Continental S.A., México
2ª Edición, 1977

- 9.- Dawe, Linda L. and William R. Penrose
"Bactericidal' Property of Seawater: Death or Debilitation?"
Appl. and Environm. Microbiol. 35:5, 829-833, 1978
- 10.- De Flora, S., Giuseppe P. de Renzi and Giuseppe Badolati
"Detection of Animal Viruses in Coastal Seawater and Sediments"
Appl. Microbiol. 30 (3): 472-475, 1975
- 11.- Derenbach, J.B. and P.J. Le B. Williams
"Autotrophic and Bacterial Production: Fractionation of Plankton Populations
by Differential Filtration of Samples from the English Channel"
Marine Biology 25, 263-269, 1974
- 12.- Dufourm, A.F. and V.J. Çabelli
"Membrane Filter Precedure for Enumerating the Components Genera of the
Coliform Group in Sea Water"
Appl. Microbiol. 29: 826-833, 1975
- 13.- Ehrlich, H.L.
"Bacteriology of Manganese Nodules"
Appl. Microbiol. 16(2), 197-202, 1968
- 14.- Fell, J.W.
"Distribution of Yeast in the Indian Ocean"
Cull. Marrin. Sci. Gulf. Caribb. 17: 454-470, 1967
- 15.- Fogg, G.E.
"Nitrogen Fixation"
In: R.A. Lewin (Editor)
'Biochemistry and Physiology of Algae'
Academic Press, New York, N.Y. 1962
pag. 161-170
- 16.- Gerhard, Newmann and Willard J. Pierson Jr.
"Principles of Physical Oceanography"
Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, New Jersey, 1966
- 17.- Goering, J.J.
"Denitrification in Marine Systems"
In: Microbiologia 1978
Edited by David Schlessinger
American Society for Microbiology
Washington D.C. 1978

- 18.- Horowitz, Amikam, D. Gutnick and E. Rosenberg
"Sequential Growth of Bacteria on Crude Oil"
Appl. Microbiol. 30:1, 10-19, 1975
- 19.- Información Científica y Tecnológica —
"La marea Roja: Efecto Natural del Ecosistema Marino"
Vol. 1 # 5 1979
CONACYT.
- 20.- Jamieson, William, Peter Madri and George Claus
"Survival of Certain Pathogenic Microorganisms en Sea Water"
Hydrobiologia 50 (2): 117-121, 1976
- 21.- Jannash, H.W.
"Studies on Planktonic Bacteria by Means of a Direct Membrane Filter Method"
J. Gen. Microbiol. 18: 609-620. 1958
- 22.- Jannash, H.W. & Galen E. Jones
"Bacterial Populations in Sea Water as Determined by Different Methods of Enumeration"
Limnol. Oceanogr. 4 (2), 128-139, 1959
- 22-A.- Jannash, H.W., C.O. Wirsen & C.L. Winget
"A bacteriological Pressure Retaining Deep-Sea Sampler and Culture Vessel"
Deep Sea Research 20 (7), 661-664, 1973
- 23.- Jørgensen, B.B. & T. Fenchel
"The Sulfur Cycle of a Marine Sedement Model System"
Mar. Biol. 24, 189-201, 1974
- 24.- Levin, M.A., J.R. Fixcher & V.J. Cabelli
"Membrane Filter Technic for Enumeration of Enterococci in Marine Waters"
Appl. Microbiol. 30: 66-71, 1975
- 25.- Maruyama, Y., T. Susuki & K. Otake
"Nitrogen Fixation in the Marine Environment: The Effect of Organic Substra
tes on Acetylene Reduction"
Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds.
University Park Press, Baltimore, London, Tokyo, 1972
pag. 341-353
- 26.- McElroy, William D. & Howard H. Seliger
"Bioluminiscencia"
Sci. Amer. Diciembre 1962, pag. 186-197

- 27.- Mills, A.L., C. Brevil & R.R. Colwell
"Enumerating of Petroleum-Degrading Marine and Estuarine Microorganisms
by the Most Probable Number Method"
Can. J. Microbiol. 24 (5): 552-557
- 28.- Morita, Richard Y.
"Effects of Hydrostatic Pressure on Marine Microorganisms"
Oceanogr. Mar Biol. Annu. Rev. 5, 187-203, 1967
- 29.- Morita, Richard Y.
"Hydrostatic Pressure Effects on Microorganisms"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds.
University Park Press, Baltimore, London, Tokyo. 1972
pag. 133-138
- 30.- Morita, Richard Y.
"Temperature Effects on Marine Microorganisms"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
University Park Press, Baltimore, London, Tokyo. 1972
- 31.- Nason, Alvin
Biología
Editorial Limusa, México D.F. 1^a Ed.
1975
- 32.- Patriquin, D.G. & R. Knowles
"Denitrifying Bacteria in some Shallow Water Marine Sediments: Enumeration
and Gas Production"
Can. J. Microbiol. 20: 1037-1041, 1974
- 33.- Pelczar, Michael J. et. al.
Microbiology
McGraw Hill Book Co. 4th Edition
London, 1975
- 34.- Pratt, Darrel
"Salt Requirements for Growth and Function of Marine Bacteria"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds. U.P.P. Baltimore. 1972
pag. 3-15
- 35.- Pratt, Darrel & Susan Tedder
"Variations in the Salt Requirements for the Optimum Growth Rate of Marine
Bacteria"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds. U.P.P. Baltimore. 1972

- 36.- Remsen, Charles C., V.T. Bowen & S. Honjo
"Responses by Open Ocean Microorganisms to Environmental Pollution"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds. U.P.P. Baltimore. 1972
pag. 305-317
- 37.- Rheinheimer, G.
"Aquatic Microbiology"
John Wiley and Sons
London - N. Y. - Sydney - Toronto, 1974
- 38.- Seki, H, E. Wada, I. Koik & A. Hattori
"Evidence of High Organotrophic Potentiality of Bacteria in the Deep Ocean"
Mar. Biol. 26, 1-4 1974
- 39.- Simido Usio
"Improvement of Media for Enumeration and Isolation of Heterotrophic Bacteria in Sea Water"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds.
- 40.- Solomonson, Larry P.
"Algal Reduction of Nitrate"
In: Microbiologia 1978
Edited by David Schlessinger
American Society for Microbiology
Washington D.C., 1978
- 41.- Spenser, R.
"Indigenous Marine Bacteriophages"
J. Bacteriol. 79 (4): 614, 1960
- 42.- Isao Sugahara, Motohiko Sugiyama and Akira Kawai
"Distribution and Activity of Nitrogen-Cycle Bacteria in Water-Sediment Systems with Different Concentrations of Oxygen"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds.
pag. 495-509
- 43.- Nobuhiko Tanaka, Masami Nakanishi and Hajime Kadota
"Nutricional Interrelation Between Bacteria and Phytoplankton in a Pelagic Ecosystem"
In: "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities"
R.R. Colwell y R.Y. Morita Eds.
pag. 495-509

- 44.- Tuttle, Jon H. & Holger W. Jannash
"Occurrence and Types of Thiobacillus-like Bacteria in the Sea"
Limnol. Oceanogr. 17: 532-543. 1972
- 45.- Tuttle, Jon H. & Holger W. Jannash
"Microbial Utilization of Thiosulfate in the Deep Sea"
Limnol. Oceanogr. 21 (5): 697- 701, 1976
- 46.- Waksman, S.A., M. Hotchkiss & C.L. Carey
"Marine Bacteria and Their Role in the Cycle of Life in the Sea"
Biol. Bull. 65: 137-167, 1933
- 47.- Walker, J.D., R.R. Colwell and L. Petrakis
"Degradation of Petroleum by an Algae, Prototheca zopfii"
Appl. Microbiol. 30: 1, 79-81, 1975
- 48.- Walker, J.D., R.R. Colwell & L. Petrakis
"Evaluation of Petroleum-Degrading Potential of Bacteria from Water and S
e
d
i
m
e
n
t
"
Appl. Microbiol. 30 (6): 1036-1039, 1975
- 49.- Walker, J.D., J.J. Calomiris, T.L. Herbert & R.R. Colwell
"Petroleum Hidrocarbons: Degrading and Growth Potential for Atlantic Ocean
Sediment Bacteria"
Mar. Biol. 34, 1-9, 1976
- ✓ 50.- Walker, J.D., R.R. Colwell & L. Petrakis
"Biodegradation of Petroleum by Chesapeake Bay Sediment Bacteria"
Can. J. Microbiol. 22 (3): 423-428, 1976
- 51.- Walker, J.D. & R.R. Colwell
"Measuring the Potential Activity of Hidrocarbon-Degrading Bacteria"
Appl. and Environ. Microbiol. 31 (2): 189-197, 1976
- ✓ 52.- Walker, J.D. & R.R. Colwell
"Enumeration of Petroleum-Degrading Microorganisms"
Appl. Environ. Microbiol. 31 (2): 198-207, 1976
- 53.- Werner, Dietrich, Harold Evans & Ramón J. Seidler
"Facultatively Anaerobic Nitrogen-Fixing Bacteria from the Marine Environ-
ment"
Can. J. Microbiol. 20: 59-64, 1973
- 54.- Wood, E. J. Ferguson
"Microbiology of Oceans and Estuaries"
Elsevier Publishing Co.
Amsterdam-London-New York, 1967

- 55.- Wright, R.T. & J.E. Hobbie
"Use of Glucose and Acetate by Bacteria and Algae in Aquatic Systems"
Ecology, 47: 447-464, 1966
- 56.- ZoBell, C. E.
"Studies on Marine Bacteria: I. The Cultural Requirements of Heterotrophic
Aerobes"
J. Mar. Res., 4: 42-75, 1941
- 57.- ZoBell, C. E.
"Apparatus for Collecting Water Samples from Different Depths for Bacterio-
logical Analysis"
J. Mar. Res. 4 (3): 173-188
- 58.- ZoBell, Claude E. & Rochard Y. Morita
"Deep Sea Bacteria"
Galathea Rep. Copenhagen 1: 139-154, 1959
- 59.- Lozano Cabo, Fernando
Oceanografía, Biología Marina y Pesca
Ed. Paraninfo, 1970
Madrid, España, 3 tomos
- 60.- Aquatic Microbial Ecology
Proceedings of the ASM Conference
Editors: Rita R. Colwell y Joan Foster
A Maryland Sea Grant Publication
University of Maryland, College Park , 1979.