

29
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ASPECTOS DE LA BIOLOGIA DE CIERTAS
ESPECIES DE ALGAS PRESENTES EN LA
ATMOSFERA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN BIOLOGIA
P R E S E N T A ;

SERGIO ALEJANDRO CABALLERO FIGUEROA



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 está 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.

I N D I C E

I. INTRODUCCION

1.- Antecedentes	2
2.- Generalidades	10
A.- Taxonomía	10
B.- Hábitats de las Algas	10
a) Algas Edáficas	11
b) Algas Epilíticas	11
c) Algas Epifélicas	12
d) Algas Epipélicas	12
e) Algas Litoflicas	12
f) Algas Neustónicas	13
C.- Cosmopolitismo y dispersión	14
D.- Características de las aeropartículas que facilitan su dispersión	14
a) Tamaño y forma de las partículas	14
b) Cubierta de las partículas	15
3.- Objetivos	16

II. METODOLOGIA

1.- Material y método	18
-----------------------	----

III. RESULTADOS

1.- Lista de especies de algas identificadas	22
2.- Ubicación taxonómica de las especies de algas identificadas	23
3.- Hábitats originales de las especies de algas identificadas	26

4.-	Descripciones de las especies identificadas	27
5.-	Cuadros sinópticos	49
	A.- Hábitat	52
	B.- Forma de vida	53
	C.- Forma celular	54
	D.- Tamaño celular	55
	E.- Cubierta celular	56

IV. DISCUSION

1.-	Ubicación de las especies de algas analizadas de acuerdo al grado de representación de las características sinoptizadas, consideradas como "ideales"	58
2.-	Comparación de los resultados obtenidos con los datos experimentales	61

V. CONCLUSIONES

1.-	Conclusiones generales	63
2.-	Lineas de investigación propuestas	64

	BIBLIOGRAFIA	65
--	--------------	----

I. I N T R O D U C C I O N

I.1. Antecedentes.

A finales de 1969, aparece una publicación de Schlichting en la que se recopilan los resultados de los trabajos sobre algas de la atmósfera efectuados entre 1910 y 1968 en diversas partes del mundo como Alemania, Holanda, Taiwan y Estados Unidos, incluyendo sus propios trabajos realizados entre 1956 y 1967 en los estados norteamericanos de Michigan, Texas y Carolina del Norte. En dicha publicación se dan a conocer, entre otros datos, el nombre de los investigadores, el lugar y fecha de los muestreos, los métodos de colecta utilizados y las listas de organismos identificados. (Tabla I.1.1.).

En el año de 1973, Smith reporta la variación anual de las especies de algas en la atmósfera de Carolina del Norte. Para la identificación de las especies emplea cultivos unialgales aislados en Medio Basal de Bold y presenta la frecuencia de aparición de las especies identificadas. (Tabla I.1.2.).

En 1976, Carson y Brown establecen correlaciones entre diversos géneros de aeroalgas con la altitud y algunas condiciones meteorológicas en la Isla de - Hawaii, presentando la frecuencia de aparición de organismos por División taxo - nómica, en relación a la altitud del lugar de muestreo. (Tabla I.1.3.).

Seis años más tarde, durante 1982 y 1983, Tiberg, et al (1984), muestrean ambientes tanto intramuros como extramuros en Suecia, revelando que la abundancia de aeroalgas está en un intervalo de 0 a 47 unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire. Encuentra que los géneros dominantes son Chlorella y Chlorococcum para la División Chlorophyta y Nostoc y Anabaena para la División Cyanophyta. (Tabla I.1.4.).

Finalmente, entre los trabajos más recientes en Aerobiología de Algas, se encuentran los efectuados en México, en el Centro de Ciencias de la Atmósfera - de la UNAM. En este Centro de investigación, Rosas, et al (1987), durante 1986 determinaron la abundancia y heterogeneidad de algas en la atmósfera de la Cd. de México, tomando en cuenta los parámetros meteorológicos en el sitio de muestreo, para establecer las relaciones que existen entre la biota aérea y las condiciones ambientales. (Tabla I.1.5.).

Actualmente, los mismos investigadores mexicanos han iniciado un trabajo - sobre los efectos meteorológicos en la variación de algas aerotransportadas en dos ciudades de distinta altitud, la Ciudad de México y la Ciudad de Minatitlán en el Estado de Veracruz. (Tabla I.1.6.). La presente tesis forma parte de esta investigación, en lo que respecta a la identificación de 10 de las especies de algas encontradas, así como en los aspectos biológicos que facilitan su condición de aeropartículas.

Tabla I.1.1. Algas y protozoarios viables muestreados directamente de la atmósfera, en diversas partes del mundo. (Tomado de Schlichting, 1969.).

Viable Organisms Cultured	Puschkarew, Germany 1910 - 11 ^a 1, 2 ^b	Van Oyeerem, Holland 1936 - 37	Schlichting, Michigan, Texas, North Carolina 1956, 1959 - 67 1, 4, 5	Stevenson & Collier Texas 1962 6	Brown, Irbson & Ruid Texas, 1959 - 63 1, 7, 8	Luly & Hoshaw, Arizona 1963 - 64 1, 5	Chang, Taiwan 1965 1	Mahoney, Texas 1967 - 68 4
Chlorophyta								
<i>Actinastrum</i> sp.		X						
<i>Ana strodismus convolutus</i>			X					
<i>Asterococcus superbus</i>							X	
<i>Asterococcus</i> sp.		X						
<i>Borodinella</i> sp.					X			
<i>Braconococcus</i> sp.			X		X	X	X	
<i>Chlamydomonas</i> sp.			X		X	X	X	X
<i>Chlorella elipsoidea</i>			X					X
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>							X	
<i>Chlorella vulgaris</i>	X	X					X	
<i>Chlorella</i> sp.		X			X	X		X
<i>Chlorococcum</i> sp.	X	X			X	X	X	X
<i>Chlorosarcina</i> sp.					X		X	
<i>Chlorosarcinopsis</i> sp.					X	X		
<i>Chlorosphaeropsis</i> sp.					X			
<i>Coccomyxa dispar</i>							X	
<i>Coelastrum</i> sp.					X			
<i>Coleocneta irregularis</i>							X	
<i>Cosmarium</i> sp.					X			
<i>Cyandrocystis</i> sp.					X			
<i>Dityochloris</i> sp.					X			
<i>Eudorina californica</i>			X					
<i>Friedmannia</i> sp.					X			
<i>Gloeococcus schroeteri</i>							X	
<i>Gloeocystis gigas</i>			X				X	
<i>Gloeocystis</i> sp.			X					
<i>Homidium dissectum</i>							X	
<i>Homidium flaccidum</i>		X					X	
<i>Homidium</i> sp.			X		X	X		
<i>Homotlopsis</i> sp.					X			
<i>Micradora</i> sp.			X					
Myrmecia-like							X	
<i>Nannocloris bacillaris</i>			X					
<i>Nannocloris</i> sp.					X			
<i>Neocloris</i> sp.			X		X			
<i>Oedogonium</i> sp.			X					
<i>Oocystis</i> sp.					X	X	X	
<i>Ourococcus</i> sp.					X			
<i>Palmeia</i> sp.			X		X			
<i>Palmeococcus protothecoides</i>							X	
<i>Palmeococcus</i> sp.					X			
<i>Planctosphaeria</i> sp.					X	X	X	
<i>Pleurastrum</i> sp.					X			
<i>Pleurococcus vulgaris</i>		X						
Prasiola-like			X					
<i>Protococcus viridus</i>							X	
<i>Protococcus</i> sp. (<i>Pleurococcus</i>)			X		X			
<i>Protosiphon</i> sp.			X		X			
Pseudocutvella-like					X			

^a Sampling area.

^b Year of collection.

^c Methods for sampling aerial algae and Protozoa

1. Exposed sterile culture media.
2. Air drawn through cotton wool.
3. Air drawn through glass wool.
4. Water bottles, bubblers or modified impingers.
5. Membrane filter sampler.
6. Exposed glass plates sprayed with media.
7. Filter samples from the national air sampling network.
8. Rotocod sampler.

Viable Organisms, Cultured	Pushckarew, Germany ^a 1910-1111, 2	van Overeem, Holland 1936-37	Schlichting, Michigan, USA with Carstens 1946, 1959-61, 4, 5	Stevenson & Collier Texas 1962, 6	Brown, Larson & Bold Texas, 1959-61, 1, 7, 8	Luby & Hoshaw, Arizona 1963-64, 1, 5	Chang, Taiwan 1965, 1	Mahoney, Texas 1967-68, 4
Chlorophyta (Cont.)								
<i>Radiococcus</i> sp.							X	
<i>Radiosphaera</i> sp.					X			
<i>Rhizoclonium</i> sp.			X				X	
<i>Roya</i> sp.					X			
<i>Scenedesmus bijuga</i>			X				X	
<i>Scenedesmus denticulatus</i>			X					
<i>Scenedesmus obliquus</i>			X					
<i>Scenedesmus</i> sp.			X		X			
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>			X		X			
<i>Spongiocloris</i> sp.			X		X	X		
<i>Spongiococcum</i> sp.					X			
<i>Stichococcus bacillaris</i>		X					X	
<i>Stichococcus minor</i>		X						
<i>Stichococcus subtilis</i>						X		
<i>Stichococcus</i> sp.					X			
<i>Tetracystis</i> sp.					X			
<i>Tetraedron</i> sp.					X			
<i>Tetraedron bifurcatum</i>			X					
<i>Tetraedron minimum</i>			X					
<i>Tetraedron</i> sp.			X					
<i>Trebouxia cladoniae</i>							X	
<i>Trebouxia</i> sp.					X			
<i>Trentopohlia</i> sp.							X	
<i>Treubaria</i> -like			X					
<i>Ulothrix</i> sp.			X		X			
<i>Westella botryoides</i>						X		
<i>Westella</i> sp.					X			
Cyanophyta								
<i>Anabaena helicoidea</i>							X	
<i>Anabaena circinalis</i>							X	
<i>Anabaena sphaerica</i> v. <i>tenuis</i>							X	
<i>Anabaena</i> sp.			X		X			
<i>Anacystis</i> sp.					X			
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>			X					
<i>Aphanocapsa</i> sp.		X	X					
<i>Aphanothece castagnel</i>							X	
<i>Aphanothece saxicola</i>							X	
<i>Arthrospira</i> sp.					X			
<i>Calothrix</i> sp.							X	
<i>Chroococcus minutus</i>							X	
<i>Chroococcus lurgidus</i>							X	
<i>Chroococcus</i> sp.			X		X		X	
<i>Frenyella</i> sp.					X			
<i>Gloeocapsa magma</i>							X	
<i>Gloeocapsa montana</i>							X	
<i>Gloeocapsa</i> sp.			X		X		X	
<i>Gloeothece rupestris</i>							X	
<i>Lyngbya perelegans</i>							X	

^a Sampling area.
^b Year of collections.
^c Methods for sampling aerial algae and Protzoa:
 1. Exposed sterile culture media.
 2. Air drawn through cotton wool.
 3. Air drawn through glass wool.
 4. Water bottles, bubblers or modified impingers.
 5. Membrane filter sampler.
 6. Exposed glass plates sprayed with media.
 7. Filter samples from the national air sampling network.
 8. Rotored sampler.

Tabla 1.1.1 Cont.

Viability Organisms Cultured	Ruschke, Germany 1910 - 11 ^a 1, 2	van Overeem, Holland 1936 - 37 ³	Schlichting, Michigan, Texas, North Carolina 1966, 1969 - 67 1, 4, 5	Stevenson & Collier Texas 1962 6	Brown, Larson & Bold Texas, 1959 - 63 1, 7, 8	Luly & Hoshaw, Arizona 1963 - 64, 1, 5	Chung, Taiwan 1965 1	Mahoney, Texas 1967 - 68 4
Cyanophyta (Cont.)								
<i>Lyngbya versicolor</i>								X
<i>Lyngbya</i> sp.		X			X			X
<i>Lyngbya</i> -like								X
<i>Merismopedia</i> sp.					X			
<i>Microcystis flos-aquae</i>							X	
<i>Microcystis</i> sp.								X
<i>Microcystis</i> -like		X						
<i>Microcoleus vaginatus</i>						X		
<i>Microcoleus</i> sp.					X			
<i>Myxosarcina</i> sp.					X			
<i>Nostoc ellipso sporum</i>							X	
<i>Nostoc sphaerium</i>							X	
<i>Nostoc</i> sp.		X			X	X		
<i>Oscillatoria subbrevis</i>		X						
<i>Oscillatoria</i> sp.		X			X	X		
<i>Pelagloea bacillifera</i>		X						
<i>Phormidium ambiguum</i> -like		X						
<i>Phormidium foveolarum</i>							X	
<i>Phormidium inundatum</i> -like		X						
<i>Phormidium luridum</i>		X						
<i>Phormidium minnesotense</i>		X						
<i>Phormidium orientale</i>							X	
<i>Phormidium</i> sp.		X			X			
<i>Plectonema carneum</i>							X	
<i>Plectonema</i> sp.		X						
<i>Pleurocapsa minor</i>							X	
<i>Schizothrix calcicola</i>						X		
<i>Schizothrix</i> sp.					X			
<i>Scytonema hofmanni</i>						X		
<i>Scytonema</i> sp.					X		X	
<i>Symploca muscorum</i>							X	
<i>Synechococcus</i> sp.					X			
<i>Tolypothrix byssoidea</i>							X	
<i>Tolypothrix</i> sp.					X			
<i>Xenococcus kernerii</i>							X	
Chrysophyta								
<i>Botrydiopsis</i> sp.					X			
<i>Chromulina</i> sp.								X
<i>Chrysocapsa</i> sp.		X						
<i>Heterococcus</i> sp.					X			
<i>Monocilia</i> sp.					X			
<i>Tribonema</i> sp.					X			
<i>Vaucheria</i> sp.		X						
Bacillariophyta								
<i>Achnanthes</i> sp.								X
<i>Amphora</i> sp.		X						

^a Sampling area.
^b Year of collections.
^c Methods for sampling aerial algae and Protozoa
 1. Exposed sterile culture media.
 2. Air drawn through cotton wool.
 3. Air drawn through glass wool.
 4. Water bottles, bubblers or modified impingers.
 5. Membrane filter sampler.
 6. Exposed glass plates sprayed with media.
 7. Filter samples from the national air sampling network.
 8. Rotated sampler.

Tabla I.1.1. Cont.

Viable Organisms Cultured	Sampling Area							
	Pushckew, Germany ^a 1910-11, 1, 2 ^b	van Overeem, Holland 1936-37	Schlichting, Michigan, Texas, North Carolina 1956, 1959-67, 1, 4, 5	Stevenson & Collier Texas 1962, 6	Brown, Larson & Bold Texas, 1959-63, 1, 7, 8	Luby & Hoehaw, Arizona 1963-64, 1, 5	Chang, Taiwan 1965, 1	Mahoney, Texas 1967-68, 4
Bacillariophyta (Cont.)								
Chaetoceros sp.				X				
Coscinodiscus-like			X					
Gomphonema sp.							X	
Hantzschia amphioxys						X	X	
Hantzschia sp.					X			
Melosira-like					X			
Navicula minuscula		X						
Navicula sp.			X		X			
Naviculoid diatom							X	
Nitzschia frustulum							X	
Nitzschia palea			X					
unidentified diatom				X				
Protozoa								
Actinotaphus-like			X					
Actinophrys-like			X					
Amoeba polyphagus	X							
Amoeba sp.	X		X					
unclassified amoeba			X					
Ancyromonas-like			X					
Anisonema sp.			X					
Bodo celler	X							
Bodo globosus	X							
Bodo parvus	X							
Bodo repens	X							
Bodo sp.			X					
Chrysopsis-like			X					
Colpoda cucullus	X							
Colpoda steinii	X							
Colpoda sp.			X					
Cryptoglena sp.								X
Cryptomonas sp.								X
Dimastigamoeba bistadialis	X							
Dinomonas vorax	X							
Entosiphon ovatum			X					
Entosiphon sp.			X					
Euglena proxima			X					
Euglena sp.						X	X	
micro-flagellates				X				
Monas vivipara	X							
Monas sp.			X					
Oikomonas sp.			X					
Paranema sp.			X					X
Petalomonas sp.	X							
Pleuromonas sp.								X
Polypseudopodius bacterioides	X							
Trachelomonas sp.						X		
Uronema-like								X
Unclassified hypotrich								X

^a Sampling area.

^b Year of collections.

^c Methods for sampling aerial algae and Protozoa

1. Exposed sterile culture media.
2. Air drawn through cotton wool.
3. Air drawn through glass wool.
4. Water bottles, bubblers or modified impingers.
5. Membrane filter sampler.
6. Exposed glass plates sprayed with media.
7. Filter samples from the national air sampling network.
8. Rotorod sampler.

Tabla I.1.4. Distribución de géneros de algas en muestreos de aire de Eskilstuna 1982 y Uppsala 1983, Suecia. (Tomado de Tiberg, et al, 1984) -8-

Values in % of total number of colonies

Genera	1982				1983					
	May	June	August	September	April	May	June	July	August	September
<i>Chlorella</i>	35 ^a	28	75 ^a	45	49	35	25	39	45	12
<i>Chlorococcum</i>		10		5	38	20	10	10	12	25
<i>Chlorohormidium</i>	1	2	1	1	2	3	1			
<i>Stichococcus</i>	2	2	6	1	3	2	7	5		
Other Chlorophyceae		2		1			4	5	5	19
Chlorophyceae total	38	44	82	53	88	61	42	60	65	44
<i>Heterothrix</i>	4	9	2	1		5	8			
Other Xanthophyceae		2			2	3	1			
Xanthophyceae total	4	11	2	1	2	8	9			
<i>Hantzschia</i>				4		1	2			5
Other Bacillariophyceae		3		1			1	1	1	4
Bacillariophyceae total	3 ^b	3	0	5		1	3	1	9	
<i>Lyngbya/Phormid./Plectonema</i>	3	4	7	7	2	14	31	23	14	37
<i>Nostoc</i>	1				2		1		5	
Other Cyanophyceae	1		2			12	4	3	1	18
Cyanophyceae total	5	4	9	7	4	26	36	26	20	55
Not identified	51	38	7	33	7	3	9	11	5	

^a *Chlorella* and *Chlorococcum* summarized.

^b Not identified.

Tabla I.1.5. Conteos de algas y condiciones meteorológicas durante los períodos de muestreo en la Cd. de México. (Tomado de Rosas, et al, 1987).

Date of Sample	Sky Condition	Temperature °C	Relative Humidity (%)	Viable Organisms	Organisms No/100
20/7/81	C	24.0	31	<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
21/7/81	C	23.0	44	<i>Plectonema aestivum</i>	1.1
24/7/81	C	23.3	34	<i>Chlorella saccharophila</i>	2.0
25/7/81	C	23.3	33		0.0
26/7/81	C	23.3	28	<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
3/8/81	C	22.0	33	<i>Chlorella saccharophila</i>	1.1
11/8/81	C	22.3	49	<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
11/8/81	C1	22.1	39	<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
12/8/81	C	19.3	50	<i>Microthorax sphaeolus</i>	2.0
13/8/81	C	19.0	72		0.0
14/8/81	C1	19.0	62		0.0
4/9/81	C1	21.7	52	<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.0
5/9/81	C	20.1	41	<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
9/10/81	C	14.0	45	<i>Microthorax sphaeolus</i>	0.7
				<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
14/10/81	C	23.3	40		0.0
14/10/81	C1	17.0	50		0.0
35/10/81	C	20.3	61	<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
				<i>Chlorella sphaeroides</i>	2.0
				<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
24/11/81	C	20.0	35	<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
11/11/81	C	18.0	40	<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
				<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
				<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
12/11/81	C1	9.2	51	<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
13/11/81	C1	17.3	62	<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
				<i>Chlorella sphaeroides</i>	1.1
				<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
14/11/81	C	21.7	34	<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
17/11/81	C	22.0	20		0.0
19/11/81	C	22.0	27		0.0
19/11/81	C1	19.7	44		0.0
20/11/81	C1	11.0	33		0.0
21/11/81	C1	20.0	37	<i>Microthorax sphaeolus</i>	16.0
				<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.0
				<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.0
22/11/81	C1	21.0	30	<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.0
23/11/81	C	19.0	40	<i>Microthorax sphaeolus</i>	1.1
24/11/81	C	19.0	45	<i>Chlorella sphaeroides</i>	0.0
25/11/81	C	14.0	10		0.0

C1: CL-3M

C: CL-6M

Tabla 1.1.6. Ocurrencia de algas aerotransportadas en dos lugares de diferente altitud en México (Tomado de Rosas et al, en proceso).

ORGANISMOS	FRECUENCIA %	
	Cd. de México (2240 msnm)	Minatitlán (16 msnm)
CHLOROPHYTA		
<u>Botrykoryne simplex</u>	2.2	0.0
<u>Chlorella luteoviridis</u>	0.0	2.7
<u>Chlorella saccharophila</u>	6.6	5.5
<u>Chlorella vulgaris</u>	8.8	13.8
<u>Chlorococcum diplobionticum</u>	24.4	8.3
<u>Chlorococcum ellipsoideum</u>	0.0	2.7
<u>Homidium subtile</u>	4.4	2.7
<u>Mesotaenium micrococcum</u>	6.6	0.0
<u>Scenedesmus acutus</u>	42.2	36.1
<u>Ulothrix tenerrima</u>	2.2	0.0
CYANOPHYTA		
<u>Chlorogloea microcystoides</u>	0.0	2.7
<u>Lyngbya holsatica</u>	0.0	2.7
<u>Myxosarcina concinna</u>	0.0	8.3
<u>Nostoc parmelioides</u>	17.7	0.0
<u>Phormidium jenkelianum</u>	2.2	0.0
<u>Plectonema gracillimum</u>	6.6	11.1

I.2. Generalidades.

A.- Taxonomía.

Cuando se realiza cualquier tipo de estudio sobre un grupo determinado de organismos, es necesario considerar la ubicación taxonómica tanto del grupo en general como de los organismos que lo conforman. Para entender el alcance y las funciones de la taxonomía, es necesario comprender el significado de ciertos - términos relacionados con ella, tales como: la identificación, la determinación y la nomenclatura.

La identificación es la ubicación de la categoría taxonómica de un organismo, mediante la comparación con otro de identidad conocida, a fin de unificarlos. La determinación, por su parte, es la ubicación precisa de la categoría taxonómica de un organismo, de acuerdo a una clasificación previamente constituida. Para ambos procedimientos se recurre a cultivos, ejemplares de herbario o descripciones en publicaciones tales como: claves, libros, artículos, monografías, etc. Finalmente, la nomenclatura consiste en dar un nombre correcto al organismo que ha sido identificado o determinado.

En la actualidad, la taxonomía de algas de la atmósfera, se basa en estudios comparativos de las historias de vida de los organismos en cultivos unialgales, apoyados en la utilización de material vivo colectado en la naturaleza, en la que existe una gran diversidad de hábitats y comunidades de algas.

B.- Hábitats de las algas.

Las algas como grupo son consideradas regularmente como organismos acuáticos, de hecho, son los autótrofos dominantes de los ambientes acuáticos en general. Sin embargo, basta la formación de una pequeña película húmeda sobre cualquier superficie para que exista un crecimiento considerable de algas, a veces imperceptible a simple vista por estar constituido de especies que crecen como células solitarias. Así, no sólo encontramos algas en corrientes de agua, charcas, ríos, lagos y océanos, sino que, la superficie del suelo, rocas, troncos de árboles, materiales de construcción, nieve, vegetación, animales, etc., constituyen también un buen sitio para el crecimiento de estos organismos. Cabe señalar que algunas superficies en donde existen crecimientos bentónicos de algas (Round, 1981), son superficies expuestas al aire, que se consideran como hábitats subaéreos en general y las especies de algas ahí localizadas, por consiguiente, se conocen como algas subaéreas.

a) Algas Edáficas.- Existe una gran abundancia de algas habitando sobre o cerca de la superficie del suelo, incluso en suelos que soportan pocas plantas superiores. La flora del suelo es dominada por algas Chlorophyta, Cyanophyta y Chrysophyta (Bacillariophyceae y Xantophyceae), con algunas especies ocasionales de Euglenophyta y Rhodophyta. Muchos de los géneros están ampliamente distribuidos en todos los tipos de suelo, siendo los más comunes: Chlamydomonas, Bracteacoccus, Hormidium, Stichococcus, Chlorococcum, Vaucheria, Anabaena, Nostoc, Cilindrocystis y Navicula. Las regiones del mundo con altos niveles de precipitación, humedad, y temperatura, localizadas aproximadamente entre las latitudes 20° N y 20° S, lugares donde la humedad es retenida en el suelo, son probablemente las zonas más favorables para el desarrollo de las algas edáficas.

Una gran parte de éste tipo de algas existen como organismos unicelulares, mientras que otras, particularmente de la División Cyanophyta, crecen como especies coloniales o formando filamentos cortos. Sin lugar a duda, los estudios más extensivos sobre algas del suelo han sido los efectuados en suelos soviéticos por Shtina en 1960 (Round, 1981) y uno de los puntos más sobresalientes de dichos estudios es el referente a la afirmación de que las células algales no están adheridas a los fragmentos del suelo, sino que son consideradas como partículas suspendidas en la película de agua. La mayoría de las algas del suelo son epidáficas, es decir, habitan la zona superficial de éste, sin embargo, existe una asociación de algas endodáficas que se localiza en la zona sub-superficial del suelo. Tchan y Whitehouse en 1953 (Round, 1981), reportan que existe un decremento del 99% en el número de microorganismos en los primeros 5 mm de profundidad del suelo, esto quiere decir, que la comunidad de algas endodáficas es relativamente pequeña. además, al no recibir suficiente intensidad de luz para poder fotosintetizar, estas microalgas están adaptadas al heterotrofismo para lograr subsistir.

b) Algas Epilíticas.- Las asociaciones de algas que se localizan en la superficie de rocas expuestas, especialmente en regiones montañosas, acantilados, márgenes de lagos y corrientes de agua, constituyen la flora epilítica. La región intermareal de las zonas templadas, es donde existe un abundante desarrollo de estos organismos, especialmente en lugares que no se desecan fácilmente debido al constante cambio en el nivel de la marea. La flora de estos sitios es dominada por algas Cyanophyta, las cuales tienen una gran distribución con Gloeocapsa, Scytonema y Stigonema como ejemplos de los géneros más comunes, también las Diatomeas están bien representadas en éste tipo de hábitat, sin embargo, parece que no existe una flora única de algas epilíticas.

c) Algas Epifélicas.- Las algas epifélicas son aquellas que se desarrollan sobre la superficie expuesta de madera viva, localizada en un ambiente, ya sea terrestre o acuático. Las especies que ahí se encuentran pueden presentar mecanismos de fijación como extensiones rizoidales de una célula basal como en el género Cladophora, pies de fijación en los filamentos no ramificados de Ulothrix y Oedogonium, secreción de un cojín, pedúnculo o tubo de material gelatinoso por muchas especies de Diatomeas pennadas, así como la formación de masas mucilaginosas sobre la superficie de troncos de árboles que presenta la desmi - dia Mesotaenium.

d) Algas Epipélicas.- El epipelon es una comunidad de organismos distribuida en o sobre la superficie de los sedimentos lodosos suaves, terrenos lodosos o marismas, la zona litoral de lagos y en áreas con movimientos lentos en el agua de corrientes y ríos. Las Diatomeas son abundantes tanto en sedimentos marinos como dulceacuícolas, mientras que las algas Cyanophyta, desmi - dias y algunos géneros móviles como Chlamydomonas, son muy comunes en aguas dulces. La composición de especies epipélicas varía mucho entre hábitats, sin embargo, tiende a ser constante para cada uno de ellos. La movilidad es una ventaja selectiva para éste tipo de algas debido al peligro de ser enterradas en los sedimentos fangosos.

e) Algas Litofílicas.- Las algas litofílicas son las desarrolladas sobre sus - tratos como rocas, ladrillos, cemento, materiales de construcción en general, y están presentes en los muros de viejas construcciones, contribuyendo en muchos casos al deterioro de la roca. Un crecimiento pulverulento verde es muy común en construcciones de toda índole, principalmente en monumentos antiguos donde el tiempo y el desgaste de la superficie de la roca, han permitido la formación de un hábitat favorable. De acuerdo a un trabajo realizado por Schlichting en 1975, en numerosas construcciones de la República de Irlanda, las algas Cyano - phyta dominan la flora litofílica, sobresaliendo los géneros: Croococcus, Gloeocapsa, Oscillatoria, Nostoc y Plectonema por su abundancia en los muestreos. Las algas Chlorophyta también están bien representadas en éste tipo de hábitat siendo Chlorella, Chlorococcum y Pleurococcus los géneros más abundantes. También se encuentran algunos géneros de algas Cryso - phyta, particularmente Bacillario - phyceae.

f) Algas Neustónicas.- La superficie del agua a menudo presenta altas concentraciones de materia orgánica disuelta y soporta también densas poblaciones de microorganismos. El neuston es la zona superficial del plancton localizada en la interfase agua-aire y en la que habitan dichas poblaciones.

Según Valkanov (1968) (Round, op.cit.), la flora neustónica está compuesta únicamente por algunos géneros de algas Chlorophyta y Chrysophyta, tales como: Nautococcus, Botrydiopsis, Chromophyton y Arnaudovia, no existiendo otros grupos de algas colonizando este hábitat. Algunos géneros de algas neustónicas poseen adaptaciones para la flotación y estabilización en la interfase agua-aire, dichas adaptaciones consisten principalmente de extensiones en las paredes celulares. Por otro lado, Parker y Hatcher (1974) (Round, op.cit.), reportan Chlorophyta y Euglenophyta, así como algunas Chrysophyta (Bacillariophyceae) en la superficie de la microcapa y afirman que éstas no están de ninguna manera adaptadas a la vida del neuston.

El interés en ésta comunidad no sólo estriba en la composición de las especies de algas adaptadas o no, también es importante por la acumulación de células y partículas químicas que están presentes en ésta microcapa, como ya se había mencionado.

Schlichting en 1974, demostró experimentalmente que varias especies de microalgas podían pasar de cultivos al aire, al ser expulsados a partir de burbujas generadas en el seno del líquido y que se rompen en la superficie. Entre las especies que trabajó están: Bracteacoccus terrestris, cuyas células de 3 a 8 μm de diámetro, fueron expulsadas 11 cm. sobre la superficie; Oscillatoria sp, cuyos hormogonios de 2 x 20 μm alcanzaron una altura de 8 cm. y Stichococcus bacillaris, con células de 2 x 4-6 μm , que llegaron hasta 13 cm.

También trabajó con algas de cuerpos de agua naturales y demostró que ciertas especies podían pasar de agua colectada a la atmósfera por la misma vía. De ésta manera encontró, entre otras especies: Chlorella vulgaris (5-7 μm), - Chroococcus sp. (2-3 μm) y Scenedesmus sp. (3 x 8-10 μm), cuyas células fueron expulsadas 7 cm. sobre la superficie del agua; mientras Schizothrix calcicola (5-80 μm) fué expulsada 3.3 cm.; así como Navicula sp. (60 μm) y Nitzschia sp. (80 μm) fueron expulsadas 2 cm. únicamente, debido a su tamaño celular.

Cabe mencionar finalmente que Schlichting observó que una burbuja en proceso de formación, al recorrer una distancia de 8 cm., se rompió expulsando aproximadamente 157 células viables de Chlorella minutissima de 1.5 a 2.6 μm , alcanzando hasta 7 cm. de altura en el aire.

C.- Cosmopolitismo y dispersión.

Considerando lo expuesto anteriormente, se deduce que algunas algas son verdaderamente organismos cosmopolitas. El cosmopolitismo de la mayoría de ellas depende en gran parte de los métodos por los cuáles se dispersan de un lugar a otro. Las corrientes de agua, el viento, la lluvia, y la acción de los animales, son factores considerados como importantes para la dispersión de microalgas y existen también medios artificiales de transporte como los cascos de los barcos por citar un ejemplo, sin embargo, para la mayoría de las especies no hay información completa sobre sus mecanismos de dispersión.

Quando las algas crecen en superficies expuestas al aire, los movimientos atmosféricos, esto es, la turbulencia generada ya sea por calentamiento de la superficie del suelo y/o por la fricción del viento en la superficie, así como, los fenómenos meteorológicos tales como, la lluvia, el granizo, la nieve, etc pueden ser mecanismos de dispersión importantes debido a la perturbación que ocasionan sobre dichas superficies, favoreciendo la transferencia de las algas a la atmósfera. Además, la presencia de algunas especies de algas de hábitats restringidos en sitios remotos, sugiere que los movimientos atmosféricos y los fenómenos meteorológicos, son importantes para su dispersión y de ahí que éstos organismos formen parte de las partículas suspendidas en la atmósfera.

D.- Características de las aeropartículas que facilitan su dispersión.

a) Tamaño y forma de las partículas.

Entre las características que permiten la transferencia de partículas a la atmósfera, están el tamaño y la forma de las mismas, ya que se consideran como las más importantes en lo referente a la aerodinámica de la dispersión atmosférica. Para que una partícula se pueda dispersar fácilmente en la atmósfera se considera que debe estar en un rango de tamaño de 1 a 60 μm , independientemente de su composición (Hobbs, et al, 1985). Las partículas cuyo diámetro es de alrededor de 5 μm , se ven influenciadas en su dispersión principalmente por la velocidad del viento en superficie, mientras que aquéllas mayores de 15 μm de diámetro, son influenciadas por la fuerza del mezclado convectivo de la atmósfera (Hobbs, op.cit.) Otros factores que intervienen pueden ser: variaciones en las condiciones del suelo (pavimentado, erosionado, cultivado, etc.), polvo suspendido por la acción del viento, tormentas de polvo (tolvaneras), frecuencia e intensidad de la precipitación, etc.

La composición de las partículas aerotransportadas es variable y obviamente existen, en proporción considerable, partículas compuestas de materia orgánica, que pueden ser, entre otras cosas, células de microorganismos tales como:

bacterias, hongos, protozoarios, algas, etc; siendo la Aerobiología, la encargada del estudio de éstos microorganismos transportados en la atmósfera.

La morfología de las partículas aerotransportadas es muy diversa también, pero existe una tendencia a las formas esféricas o subsféricas, por ser éstas menos resistentes a la fricción del aire, comprobándose con ésto que las células de microorganismos, generalmente de éstas formas, son abundantes en la composición orgánica del polvo atmosférico.

b) Cubierta de las partículas.

Los microorganismos, una vez constituidos como partículas de la atmósfera, quedan sujetos a las fluctuaciones de humedad, temperatura, radiación, viento, etc. Por otra parte, Hobbs, et al (op.cit.) dice que las partículas aerotransportadas se rodean de halos de humedad cuyo diámetro depende a su vez de la humedad del aire, y que en dichos halos pueden quedar disueltos iones como los sulfatos. La formación de estos halos y la disolución de sustancias químicas atmosféricas en ellos, resulta dañina cuando se trata de partículas que son células de microorganismos, de ahí que aquellos que posean una cubierta celular que los proteja de cualquiera de los factores adversos mencionados, tendrán mayor posibilidad de permanecer viables.

Coleman (1983), menciona que las algas de la División Chlorophyta (representadas tanto en hábitats terrestres como acuáticos, principalmente dulceacuícolas) forman células especiales de paredes gruesas como los llamados aquinetos, que les proporcionan ciertas ventajas adaptativas para su sobrevivencia y diseminación, ya que considera que el problema principal al que están sometidos los microorganismos en su dispersión, es la pérdida de agua. Dichas células especiales de paredes gruesas, consideradas como estructuras de resistencia, son generalmente células vegetativas con paredes modificadas tanto en grosor como en composición, que le confieren al organismo, protección contra condiciones desfavorables. Sin embargo, para que una partícula pueda ser fácilmente dispersada en la atmósfera, no necesariamente debe tener estructuras de resistencia, basta con poseer en sus células vegetativas, una cubierta celular conformada por una pared firme, relativamente gruesa, que al igual que una estructura de resistencia, le proporcione protección al organismo en la dispersión, incluso se han reportado casos excepcionales en los que ciertas especies de microalgas formadoras de estructuras de resistencia, son más susceptibles a condiciones desfavorables del medio, que otras especies de células vegetativas con simples paredes firmes, relativamente engrosadas.

Cabe mencionar que otras especies de aeroalgas, poseen una vaina extracelular, producto de secreciones de su misma pared y que, dependiendo de la forma de vida del organismo, ésta puede ser individual o colonial. A dicha vaina se le considera como otra protección aunada a la ya proporcionada por la pared celular propia de cada célula vegetativa dispersada en la atmósfera.

I.3. Objetivos.

Mediante una investigación bibliográfica y con el conocimiento aportado por las historias de vida de los organismos en estudio, proponer las características del alga "ideal" aerotransportada, esto es, exitosamente dispersable en la atmósfera.

Determinar a qué especie o especies corresponden las características propuestas.

Establecer la veracidad de la determinación anterior, mediante las frecuencias de aparición que la especie determinada ha presentado en muestreos de la atmósfera en algunas partes del mundo.

Indicar a qué taxa pertenecen la mayoría de las algas aerotransportadas.

II. METODOLOGIA

II.1. Material y método.

Para el desarrollo de la presente investigación, se dispuso de muestreos de aire, efectuados tanto en la Ciudad de México (Ciudad Universitaria), como en las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, en el Estado de Veracruz. Los muestreos se llevaron al cabo mediante un muestreador de aire que consiste de una canastilla que se eleva con ayuda de una polea en una asta. La altura final de muestreo es de 12 metros sobre el nivel del suelo. La canastilla contiene un matraz burbujeador. El aparato muestreador se conecta a una bomba de succión por medio de una manguera de hule. El volumen de aire muestreado se mide mediante un rotámetro calibrado a un gasto de 15 litros por minuto durante una hora. (Schlichting, 1961, en Rivera, 1985).(fig. II.1.1).

Las muestras tomadas, posteriormente son cultivadas bajo condiciones estandar en Medio Basal de Bold, el cual es un medio general de composición conocida (Stein, 1973, en Rivera, 1985.), seleccionado por la razón de que, para este tipo de estudio, se requieren cultivar diferentes especies de algas muestreadas de la atmósfera, originadas, por tanto, de distintos sustratos.

A partir de los aislamientos de las algas en condición unialgal, se inicia la etapa de identificación al presentar el cultivo desarrollo manifiesto, siendo este el punto de partida de la presente tesis.

En el proceso de identificación se va de lo general a lo particular, esto es, en primer lugar se observan características notables a simple vista, como pueden ser, tonalidad y coloración aparente del cultivo, la forma de crecimiento, la adherencia al vidrio, la forma que toma la colonia en medio sólido, etc. Este análisis permite la ubicación en División, Clase, y en algunos casos hasta Orden de la especie que se está trabajando.

La morfología que se va presentando durante las distintas etapas del desarrollo en cultivo de cada especie, se observa periódicamente por medio de preparaciones vivas. Simultáneamente se toman fotografías al microscopio (fotomicroscopio Carl Zeiss Mod. 62304.) , en distintos aumentos e iluminaciones y se hacen dibujos de lo observado (iconotipos). Los esquemas y fotografías se comparan posteriormente con las descripciones que aparecen en la bibliografía respectiva.

Durante las observaciones deben considerarse básicamente:

- características morfológicas del organismo como las formas de vida (células libres, filamentos o colonias) ; estructuras de reproducción, tanto sexuales (gametos) como asexuales (esporangios, esporas, autosporas, zoosporas, etc.); estructuras de resistencia (acinetos).
- características citológicas como la organización del cloroplasto, presencia

de pirenoides, vacuolas, órganos de locomoción, etc.

Así mismo, deben tomarse las dimensiones celulares de los diferentes estadios, así como las estructuras visibles al microscopio fotónico. Las observaciones se continúan periódicamente hasta verificar y reconocer que se ha observado completa la historia de vida de un organismo. Toda la información reunida permite la ubicación en el taxón más cercano a la especie. Con todas las características recopiladas se recurre a información particular como claves, monografías, etc.

Las descripciones de las cepas del aire de las especies colectadas, se realizan a lo largo de las observaciones periódicas al microscopio. Una especie en cultivo unialgal así descrita, es una especie que puede considerarse identificada.

Una vez identificadas las especies y efectuadas las descripciones de las mismas, se integran las especies identificadas y descritas anteriormente para México por Rivera en 1985, haciendo un total de 18 descripciones de cepas del aire, que exceptuando a Chlorella sacharophila (Smith, 1973) y Chlorella vulgaris (Schlichting, 1969) todos son registros nuevos para la atmósfera.

Posteriormente se establecen las características comunes a la mayoría de los organismos. Por medio de cuadros se agrupa a las especies de acuerdo a las características establecidas, después se ordena a los organismos tomando en cuenta el grado en que presentan dichas características, para finalmente determinar el tipo de especie de alga "ideal" aerotransportada, así como aquellas especies que puedan considerarse como fácilmente dispersables en la atmósfera.

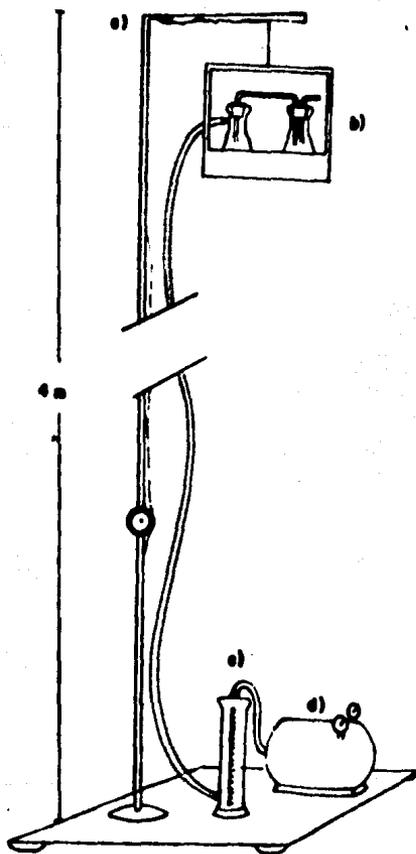


Fig. II.1.1. Muestreador de aire. a) Torre. b) Canastilla con burbujeador
c) Rotámetro. d) Bomba de aire. (Tomado de Rivera, 1965).

III. RESULTADOS

Tabla III.1. Lista de especies de algas identificadas.

CHLOROPHYTA

- (*) Botryokoryne simplex REISIGL, 1964.
- (*) Chlamydomonas aglőeformis PASCHER, 1927.
Chlorella luteoviridis CHODAT, 1912.
- (*) Chlorella saccharophila (KRUGER) MIGULA, 1907.
Chlorella vulgaris BEIJERINCK, 1890.
Chlorococcum diplobioticum HERNDON, 1958.
Chlorococcum ellipsoideum DEADSON & BOLD, 1960.
Diogenes bacillaris NAUMANN, 1919.
Hormidium subtile (KÜTZ.) HEERING, 1956.
Mesotaenium micrococcum KÜTZING, 1849.
Ulothrix tenerrima KÜTZING, 1836.
- (*) Scenedesmus acutus MEYEN, 1829.

CYANOPHYTA

- (*) Chlorogloea microcystoides GEITLER, 1925.
Lyngbya holsatica LEEM, 1824.
Myxosarcina concinna PRINTZ, 1921.
Nostoc parmelioides KÜTZING, 1888
- (*) Phormidium jenkelianum SCHMID, 1914.
- (*) Plectonema gracillimum (ZOPF) HANSGIRG, 1885.

(*) Estas especies no están descritas en el presente trabajo, su descripción se encuentra en la Tesis de Rivera (1985).

Tabla III.2. Ubicación taxonómica de las especies de algas identificadas.

DIVISION (*)	C H L O R O P H Y T A								
CLASE (*)	E U C H L O R O P H Y C E A E								
ORDEN (*)	C H L O R O C O C C A L E S							V O L V O C A L E S	
FAMILIA (*)	O O C Y S T A C E A E			C H L O R O C O C C A C E A E		C O C C O M Y X A C E A E	S C E N E D E S M U S - M A C E A E	C H L A N Y D O - M O N A D A C E A E	
GENERO (*)	<u>Chlorella</u>	<u>Chlorella</u>	<u>Chlorella</u>	<u>Chlorococcum</u>	<u>Chlorococcum</u>	<u>Diogenes</u>	<u>Scenedesmus</u>	<u>Chlamydomonas</u>	
ESPECIE	<u>luteoviridis</u>	<u>saccharophila</u>	<u>vulgaris</u>	<u>liplobionticum</u>	<u>ellipsoideum</u>	<u>bacillaris</u>	<u>acutus</u>	<u>aglobiformis</u>	
FUENTE	Fott y Novakova, 1969			Archibald y Bold, 1970		Bourrelly, 1972	Uherckovich, 1966	Ettl, 1976	

(*) Bourrelly, 1972

(**) Rivera, 1985

Tabla III.2. Cont.

DIVISION (*)	C H L O R O P H Y T A			
CLASE (*)	ULOTHRICOPHYCEAE			ZYGOPHYCEAE
ORDEN (*)	ULOTHRICALES			ZYGNEMATALES
FAMILIA (*)	ULOTHRICACEAE			MESOTAENIACEAE
GENERO (*)	<u>Botryokoryne</u>	<u>Hormidium</u>	<u>Ulothrix</u>	<u>Mesotaenium</u>
ESPECIE	<u>simplex</u> (**)	<u>subtile</u>	<u>tenerrima</u>	<u>micrococum</u>
FUENTE	Bourmelly, 1972	Skuja, 1956	Ramanathan, 1964	Wille, 1884

(*) Bourmelly, 1972

(**) Rivera, 1985

Tabla III.2. Cont.

DIVISION (*)	C Y A N O P H Y T A					
CLASE (*)	C Y A N O P H Y C E A E					
SUBCLASE (*)	H O R M O G O N O P H I C I D A E			C O C C O G O N O P H I C I D A E		
ORDEN (*)	N O S T O C A L E S			CHROCOCALES	PLEUROCAPSALES	
FAMILIA (*)	O S C I L L A T O R I A C E A E		N O S T O C A C E A E	S C Y T O N E M A - T A C E A E	E N T H O P H Y S A L I - D A C E A E	C H R O C O C C I - D A C E A E
GENERO (*)	<u>Lyngbya</u>	<u>Phormidium</u>	<u>Nostoc</u>	<u>Plectonema</u>	<u>Chlorogloea</u>	<u>Myxosarcina</u>
ESPECIE	<u>holsetica</u>	<u>jenkilianum</u> (**)	<u>pamelioides</u>	<u>gracillimum</u> (**)	<u>microcystoides</u> (**)	<u>concinna</u>
FUENTE	Geitler, 1932		Kantz y Bold, 1969	Geitler, 1932	Desickachary, 1969	Geitler, 1932

(*) Bourrelly, 1970

(**) Rivera, 1985

Tabla III.3. Hábitats originales de las especies de algas identificadas.

TAXA	HABITAT ORIGINAL	FUENTE BIBLIOGRAFICA
CHLOROPHYTA		
<u>Botrykoryne simplex</u>	Sobre suelo	(*) Bourmelly, 1972
<u>Chlamydomonas aglóefomis</u>	En una ciénega	(*) Ettl, 1976
<u>Chlorella lutoeviridis</u>	En un pantano	Fott y Novakova, 1969
<u>Chlorella saccharophila</u>	Sobre suelo, rocas o madera	(*) Fott y Novakova, 1969
<u>Chlorella vulgaris</u>	Sobre rocas, madera o desechos	Fott y Novakova, 1969
<u>Chlorococcum diplobionticum</u>	Sobre suelo	Archibald y Bold, 1970
<u>Chlorococcum ellipsoideum</u>	Sobre suelo	Archibald y Bold, 1970
<u>Diogenes bacillaris</u>	Cultivos de laboratorio	Prescott, 1980
<u>Hormidium subtile</u>	Sobre rocas	Suja, 1956
<u>Mesotaenium micrococcum</u>	Sobre madera	Wille, 1884
<u>Ulothrix tenerrima</u>	Sobre rocas y madera	Bold y Wynne, 1978
<u>Scenedesmus acutus</u>	Plancton	(*) Uherckovich, 1966
CYANOPHYTA		
<u>Chlorogloea microcystoides</u>	Sobre rocas	(*) Desickachary, 1959
<u>Lynbya holsatica</u>	Plancton	Geitler, 1932
<u>Myxosarcina concinna</u>	Sobre madera	Geitler, 1932
<u>Nostoc parmelioides</u>	Sobre suelo y rocas	Kantiz y Bold, 1969
<u>Phormidium jenkelianum</u>	Sobre suelo	(*) Geitler, 1932
<u>Plectonema gracillimum</u>	Sobre vidrios de ventanas, muros, hojas.	(*) Geitler, 1932
		(*) En Rivera, 1985.

III.4. Descripciones de las especies identificadas.

Chlorella luteoviridis CHODAT, 1912

Las células vegetativas son libres, tanto las autosporas como los adultos son, generalmente, de forma esférica, la pared celular es delgada y definida.

El cloroplasto es en forma de banda, aunque en algunas ocasiones presenta forma de salcera, es irregularmente lobulado en el margen, ligeramente removido de la pared celular y, además, se revierte sobre sí mismo, lo que provoca que el pirenoide presente no sea siempre visible.; dicho pirenoide es de forma irregular, más o menos esférico, situado en la parte central del cloroplasto y su vaina de almidón se observa a manera de una línea discontinua.

Los esporangios poseen autosporas de distintos tamaños, generalmente existe una mayor que las demás; las esporas se liberan con la deformación de la pared de la célula madre.

El envejecimiento de un cultivo es fácilmente observable al aparecer una tonalidad blanquecina como resultado de la pérdida de clorofila de las células viejas.

Dimensiones: Células vegetativas de 3.4 a 11.6 μm de diámetro.

Esporangios de 6.8 a 10.2 μm de diámetro.

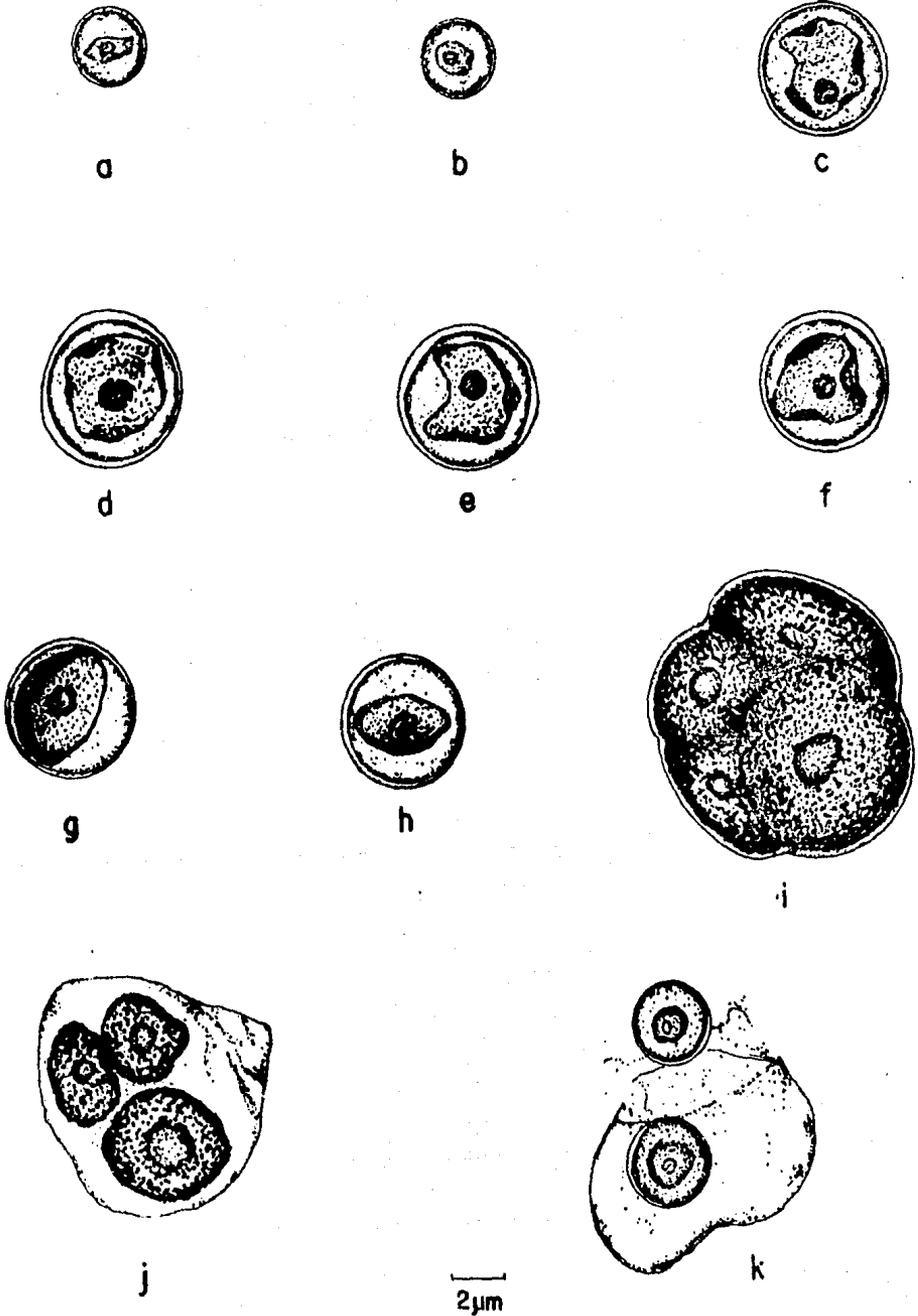
Autosporas de 2.8 a 3.2 μm de diámetro.

Colecta: En muestras de aire de la Ciudad de Minatitlán, Ver.

LAMINA I.

- a, b .- autosporas esféricas en las que se observa el cloroplasto removido de la pared.
- c, d, e .- células vegetativas esféricas con el cloroplasto en forma de banda y ligeramente lobulado en el margen; pirenoide distinguible y pared celular delgada.
- f .- célula que muestra el cloroplasto tocando la membrana en un sólo punto.
- g .- célula con el cloroplasto ligeramente removido de la pared celular.
- h .- célula con el cloroplasto completamente removido de la pared.
- i .- esporangio conteniendo autosporas de desigual tamaño.
- j .- esporangio con la pared deformada antes de liberar las esporas.
- k .- liberación de autosporas, en las que se aprecia el cloroplasto con su pirenoide.

LAMINA I



Chlorella vulgaris BEIJERINCK, 1890.

Las células vegetativas son libres, aunque las autosporas pueden presentar formas subsféricas, generalmente las células son de forma esférica, la pared celular es delgada y bien definida.

El cloroplasto es siempre parietal y de acuerdo a la edad de las células puede ser de distintas formas, en las autosporas, por ejemplo, es básicamente en forma de faja, en las células vegetativas el cloroplasto es en forma de faja o en forma de copa y en las células viejas, adquiere una forma de salcera como consecuencia del engrandecimiento de las vacuolas, las cuales están presentes desde las autosporas y aumentan de tamaño a medida que las células envejecen. Existe un pirenoide claramente visible, de forma esférica, no siempre en posición central y con una región oscura correspondiente al depósito de almidón.

Los esporangios son esféricos y pueden contener autosporas de distintos tamaños, generalmente una de mayor tamaño que las demás; la pared del esporangio se rompe durante la liberación de las autosporas, dejando de dos a cuatro fragmentos irregulares en el medio de cultivo.

Dimensiones: Células vegetativas de 2.7 a 12.3 μm de diámetro.

Esporangios de 5.7 a 11.5 μm de diámetro.

Autosporas de 3.2 a 4.6 μm de diámetro.

Colecta: En muestras de aire de las ciudades de México y Minatitlán, Ver.

LAMINA 2.

- a.- autosporas subsféricas con cloroplasto en forma de faja.
- b.- célula vegetativa mostrando un cloroplasto en forma de faja con su pirenoide.
- c.- célula vegetativa con un cloroplasto en forma de copa con su pirenoide distinguible.
- d.- célula vegetativa con cloroplasto que adquiere forma de salcera como consecuencia del engrandecimiento de las vacuolas presentes.
- e.- esporangio con esporas de distinto tamaño.
- f.- liberación de autosporas.
- g.- restos de la pared del esporangio.

LAMINA 2



a



b



c



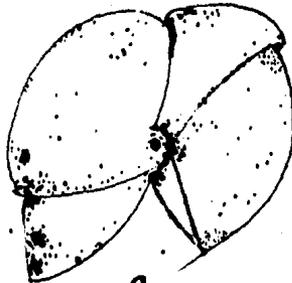
d



e



f



g

2µm

Chlorococcum diplobioticum HERNDON, 1958.

Las células vegetativas son libres, las autosporas pueden ser tanto de forma esférica como elíptica, posteriormente adquieren una forma esférica que puede observarse poliédrica debido a la compresión existente entre las células. La pared celular es gruesa, definida y aumenta de grosor conjuntamente con el aumento del tamaño celular conforme a la edad, en la fase estacionaria de crecimiento, por ejemplo, una célula puede llegar hasta triplicar su tamaño debido al engrosamiento de la pared.

El cloroplasto que posee es parietal, masivo, es decir, sin forma definida y abarcando casi todo el cuerpo celular, disgregándose en la fase estacionaria de crecimiento; contiene 1 o 2 pirenoides, claramente distinguibles, de forma subsférica, sin posición definida y con una gruesa vaina continua de almidón, observable sólo en condiciones óptimas de cultivo.

Existen tanto autosporangios como zoosporangios, los cuales, son distinguibles sólo hasta la liberación de esporas. Las zoosporas son amorfas, poseen dos flagelos de la misma longitud y aproximadamente del tamaño de la spora, presentan un estigma esférico de tonalidad amarillo-naranja, localizado en la parte anterior.

El envejecimiento del cultivo se determina fácilmente al observarse células muy grandes de color naranja, dicha coloración es debida a la gran acumulación de carotenoides aunada a la falta de clorofila.

Dimensiones: Células vegetativas de 12.0 a 36.0 μm con paredes de 5 a 6 μm de grosor.

Células seniles de 36.0 a 77.5 μm con paredes de 12 a 15 μm de grosor.

Esporangios de 15.7 a 46.2 μm de diámetro.

Autosporas de 3.5 a 12.5 μm de diámetro.

Zoosporas de 3.2 a 7.4 μm de diámetro.

Colecta: En muestras de aire de la Ciudad de Coatzacoalcos, Ver. y en la Cd. de México.

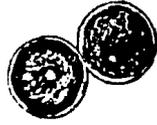
LAMINA 3.

- a.- autosporas de forma elíptica y esférica.
- b.- células vegetativas esféricas, en estadios juveniles.
- c.- células vegetativas aumentando tamaño y grosor de la pared celular.
- d.- células vegetativas con cloroplasto masivo y dos pirenoides.
- e.- esporangio conteniendo zoosporas o autosporas.
- f.- esporangio con esporas mostrando una morfología poliédrica de las mismas como consecuencia de la compresión existente entre ellas.
- g.- liberación de autosporas.
- h.- célula senil; nótese el tamaño y el grosor de la pared, además del cloroplasto disgregado.
- i.- zoosporas biflageladas mostrando su estigma anterior.

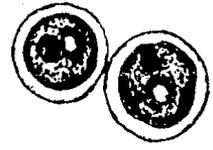
LAMINA 3



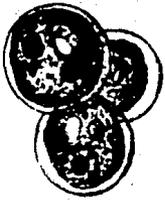
a



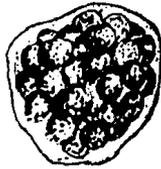
b



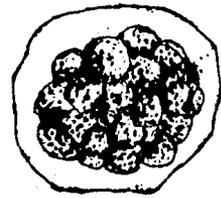
c



d



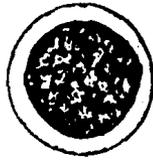
e



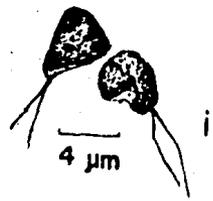
f



g



h



i

20 μm

4 μm

Chlorococcum ellipsoideum DEADSON & BOLD, 1960.

Las células vegetativas son libres, las autosporas pueden ser esféricas o elípticas, por lo regular predominan las formas esféricas. Las células vegetativas en desarrollo, adquieren una forma generalmente elíptica, permaneciendo así un largo período de tiempo, después del cual recobran su forma esférica. La pared celular es gruesa, claramente visible. El tamaño celular y el grosor de la pared se incrementan con la edad del organismo y llegan a sus máximas dimensiones en la fase estacionaria de crecimiento. A menudo las células se aglutinan.

El cloroplasto que poseen es parietal, masivo, casi ocupa todo el cuerpo celular y contiene un sólo pirenóide, difícil de observar.

Los esporangios son fácilmente distinguibles gracias a la distinta morfología de las esporas que contienen; por un lado, el autosporangio, con esporas básicamente esféricas (autosporas), se distingue del zoosporangio que contiene esporas generalmente elípticas (zoosporas).

Las zoosporas, además de su característica forma elipsoidal, son biflageladas, con los flagelos de igual tamaño y casi del largo de la espora, presentando un estigma lineal anterior de color rojo.

El envejecimiento del cultivo lo determinan las células grandes, de forma esférica, pared engrosada y de tonalidad amarilla.

Dimensiones: Células vegetativas de 13.5 a 25.8 μm con paredes de 6 μm , aproximadamente

Células seniles de 25.0 a 35.0 μm con paredes de 10 μm , aprox.

Zoosporangio de 28.0 μm de diámetro.

Autosporangio de 32.0 μm de diámetro.

Zoosporas de 7.4 a 10.2 μm de largo X 2.3 a 4.6 μm de ancho.

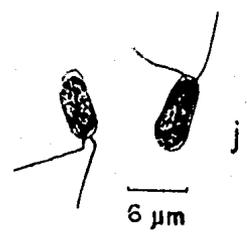
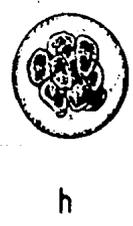
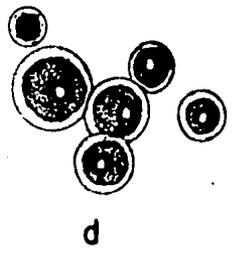
Autosporas de 4.5 a 12.4 μm de diámetro.

Colecta: En muestras de aire de la Ciudad de Minatitlán, Ver.

LAMINA 4

- a.- autosporas de forma elíptica y esférica.
- b.- célula vegetativa joven, engrosando su pared.
- c.- células vegetativas mostrando su cloroplasto masivo y su pirenóide.
- d.- aglutinamiento de células vegetativas.
- e.- célula vieja, de gran tamaño y con la pared engrosada.
- f.- esporangio con esporas esféricas (Autosporangio).
- g.- liberación de autosporas.
- h.- esporangio con esporas elípticas (Zoosporangio).
- i.- restos de la pared del zoosporangio, mostrando una zoospora elíptica.
- j.- zoosporas elípticas, biflageladas y con un estigma anterior lineal.

LAMINA 4



15 μ m

6 μ m

Diogenes bacillaris NAUMANN, 1919.

Las células vegetativas son de tamaño pequeño, de forma subsférica a esférica, generalmente libres e inmóviles, a menudo aparecen aglutinadas, la pared celular es tenue.

El cloroplasto que poseen es parietal, en forma de copa y con un sólo pirenoide.

La división es por constricción simple media (bipartición) y las células hijas se separan.

Dimensiones: Células vegetativas esféricas de aprox. $1.4 \mu\text{m}$ de diámetro.

Células vegetativas subsféricas de $1.8 \mu\text{m}$ de largo X $1.3 \mu\text{m}$ de ancho.

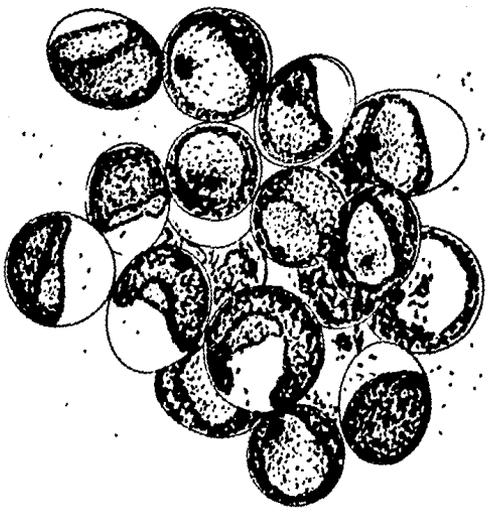
Colecta: En muestras de aire de la Ciudad de Coatzacoalcos, Ver.

LAMINA 5

- a.- célula vegetativa mostrando su cloroplasto parietal con el pirenoide central.
- b.- masa de células vegetativas aglutinadas.



a



b

1 μ m

Homidium subtile (KÜTZ) HEERING, 1956.

Los filamentos son más o menos largos, libres, generalmente rectos, aunque también se observan porciones onduladas, poseen una vaina suave, lisa e incolora, son fácilmente dissociables, se fragmentan en segmentos de pocas células o incluso en células individuales, esta fragmentación es muy notoria, observándose ángulos de 90° entre los segmentos dissociados.

Las células son cilíndricas, a menudo más largas que anchas y no todas son de las mismas dimensiones, poseen una membrana delgada, al envejecer, las células se comprimen transversalmente, adquiriendo una forma de barril, dando la apariencia de un filamento arrugado.

El cloroplasto es parietal, laminado, de forma discoidal o elíptica, además es unilateral, es decir, ocupa sólo la mitad de la periferia celular, con un pirenoide claramente visible, esférico y localizado en la parte central.

La reproducción es por fragmentación y por formación de acinetos.

Dimensiones: Células vegetativas de 6.7 a 14.6 μm de largo X 5.0 a 5.6 μm de ancho.

Filamento de 5.0 a 5.6 μm de ancho.

Colecta: En muestras de aire de la Ciudad de Minatitlán, Ver.

LAMINA 6

- a.- Filamentos rectos, largos, en los que se observa: la vaina suave y lisa, células cilíndricas no todas de las mismas dimensiones, cloroplasto parietal, laminado, discoidal y unilateral, con su respectivo pirenoide.
- b.- filamento ondulado
- c.- filamento con células comprimidas transversalmente, adquiriendo una forma de barril, demostrando con ello, el envejecimiento celular.
- d.- fragmentación de filamentos mostrando el ángulo formado entre los segmentos dissociados.
- e.- acinetos junto a filamentos de pocas células.

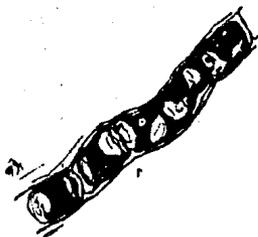
LAMINA 6



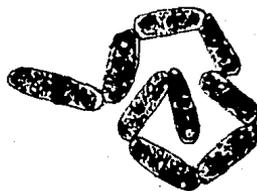
a



b



c



d



e

10 μ m

Mesotaenium micrococcum KÜTZING, 1849.

Las células vegetativas son libres, los estadios juveniles tienen forma esférica y, a medida que crecen, dicha forma se modifica a subesférica, pudiendo existir hasta células ovales o elípticas, para finalmente, en el estado adulto, adquirir una forma cilíndrica. Generalmente son células cortas, casi dos veces más largas que anchas, con los extremos de contorno redondeado y a menudo uno de ellos estrechado. La pared celular es delgada y puede engrosarse considerablemente, dejando restos después de los procesos de reproducción.

Cada célula posee un cloroplasto central, en barra, que alcanza a cubrir casi 3/4 partes de la periferia celular, con uno u ocasionalmente dos pirenoides en forma de flor.

La reproducción asexual se lleva a cabo por la división transversal de las células, después de la cual se separan y se elongan al tamaño característico de las células progenitoras.

La reproducción sexual es por conjugación, desarrollándose un canal entre dos células, a través del cual se realiza la copulación. En estas fases reproductivas, el cloroplasto se observa como una mancha central. En la fase estacionaria de crecimiento, dicho cloroplasto se aprecia como una mancha también, pero localizada al borde de la célula, además se presenta una gran vacuolación en esta etapa.

Dimensiones: Células juveniles de 5.0 a 10.0 μm de diámetro.

Células vegetativas de 10.6 a 18.5 μm de largo X 4.6 a 6.4 μm de ancho

Células en reproducción de 9.7 a 20.0 μm de largo X 5.5 a 11.5 μm de ancho.

Colecta: En muestras de aire en la Ciudad Universitaria de México, D.F.

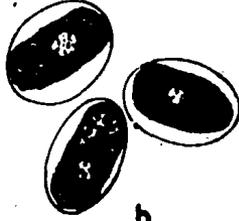
LAMINA 7

- a.- célula vegetativa joven, de forma esférica.
- b.- células vegetativas maduras, subesféricas, pudiendo ser ovales o elípticas, mostrando su cloroplasto en barra, cubriendo casi 3/4 partes de la periferia celular, con su pirenoide en forma de flor.
- c.- células vegetativas adultas de forma cilíndrica.
- d.- célula con ambos extremos de contorno redondeado y uno de ellos estrechado.
- e.- célula vieja, mostrando el engrosamiento de la pared con un cloroplasto a manera de una mancha lateral.
- f.- restos de la pared celular sobre una célula al término de la reproducción.
- g.- bipartición, células con cloroplasto como una mancha central y citoplasma vacuolado.
- h.- conjugación.

LAMINA 7



a



b



c



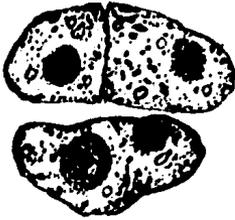
d



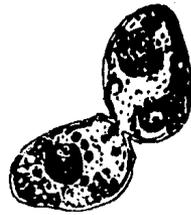
e



f



g



h

5 μm

Ulothrix tenerrima KÜTZING, 1836.

Los filamentos son largos, libres y básicamente rectos, pero se revierten sobre sí mismos en el proceso de formación del talo, observándose como una masa de filamentos enredados y con una vaina mucosa amorfa alrededor de cada uno.

Las células que constituyen un filamento son todas semejantes, de forma cilíndrica, más largas que anchas, con una pared fina, tenue, a menudo mucilaginosa.

El cloroplasto que poseen es parietal, envolvente, en forma de faja, cubriendo más de la mitad del ancho de la célula, conteniendo un sólo pirenoide esférico, localizado en uno de los extremos del cloroplasto.

La reproducción es por fragmentación, durante la cuál, el residuo de la pared de una de las porciones disociadas muestra una característica forma de letra "H", que se considera como un atributo específico. También pueden reproducirse por formación de zoosporas cuadriflageladas, las cuales no pudieron ser observadas, debido a las condiciones de cultivo.

Dimensiones: Células vegetativas de 11.2 a 13.5 μm de largo X 7.3 a 8.4 μm de ancho.

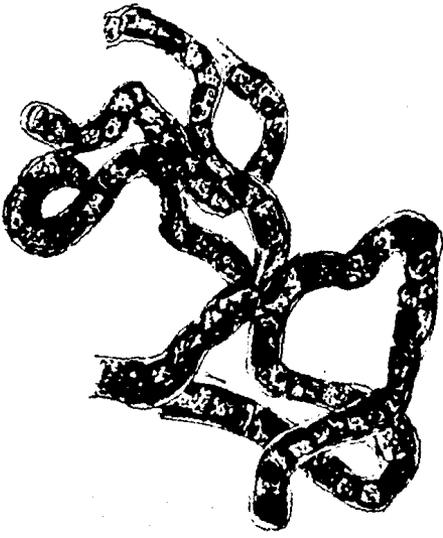
Filamentos de 7.3 a 8.4 μm de ancho

Colecta: Muestras de aire en la Ciudad Universitaria de México, D.F.

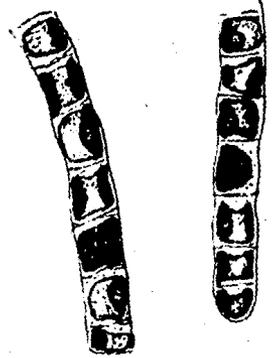
LAMINA 8

- a.- masa de filamentos enredados en el proceso de formación del talo.
- b.- filamentos rectos, largos, en los que se aprecia: vaina mucosa amorfa, células cilíndricas de pared fina, tenue, mucilaginosa, con cloroplastos parietales en forma de faja y con su pirenoide esférico, lateral.
- c.- fragmentación de filamentos en los que se observa la forma característica de letra "H", en los extremos de las porciones disociadas.

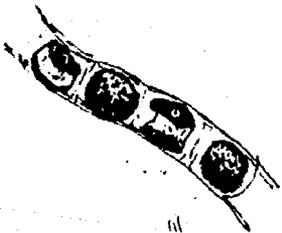
LAMINA 8



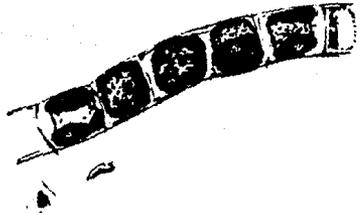
a



b



c



10 μ

Lyngbya holsatica LEEM, 1824.

Los filamentos son libres, a menudo reunidos en masa, en general son rectos o irregularmente contorneados, a veces helicoidales, con espirales bastante anchas. Son filamentos simples, sin ramificaciones y rodeados por una vaina estrecha, incolora.

Las células que constituyen un filamento son rectangulares, más anchas que largas, todas iguales y sin estar acordonadas.

La célula apical del filamento tiene el extremo redondeado, nunca atenuado y sin caliptra.

En el citoplasma se observan vacuolas cercanas a la pared transversal que reflejan color - amarillo.

Dimensiones: Filamentos de 2.7 a 3.2 μm de ancho.

Tricoma de 2.1 μm de ancho

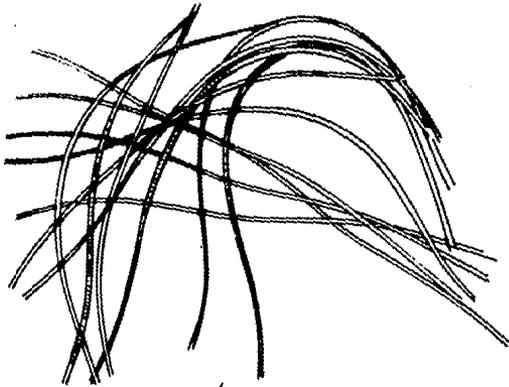
Células vegetativas de 1.3 a 1.8 μm de largo.

Colecta: En muestras de aire de la Ciudad de Minatitlán, Ver.

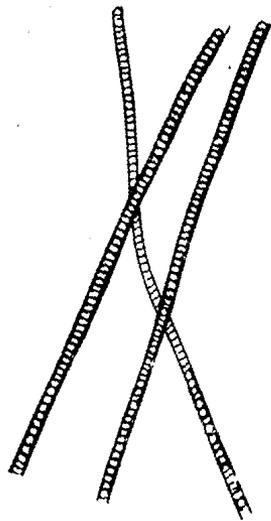
LAMINA 9

- a.- masa de filamentos.
- b.- filamentos rectos con células rectangulares.
- c.- filamentos irregularmente contorneados.
- d.- filamentos helicoidales.

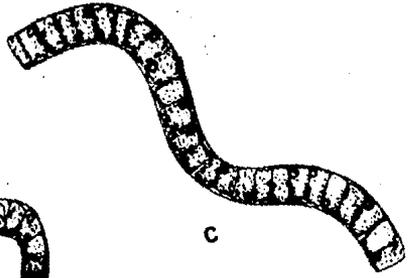
LAMINA 9



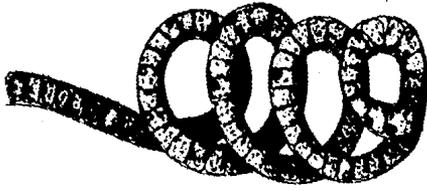
a



b



c



d

3µm

Myxosarcina concinna PRINTZ, 1921.

Las colonias son uniformes, al principio redondeadas y después se desarrollan indefinidamente a manera de cubos, en cuyo interior se encuentran células cuadrangulares, aplanadas irregularmente o apretadas unas contra las otras, dispuestas en series y cada una con una membrana.

La división es en los tres planos del espacio, las células al principio están regularmente perpendiculares, una arriba de la otra, pero con el tiempo hay divisiones oblicuas, haciendo así los paquetes cúbicos más o menos regulares, rodeados de una vaina fina, bien clara.

Todas las células de una colonia forman endosporas colectivamente y por su tamaño y su forma similar, no se distinguen unas de las otras.

Dimensiones: Células de 1.3 a 3.7 μm de diámetro.

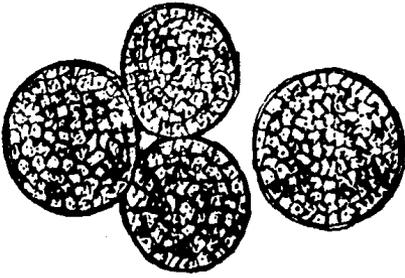
Colonias de 17.0 a 37.0 μm de diámetro.

Colecta: En muestras de aire de la Ciudad de Minatitlán, Ver.

LAMINA 10

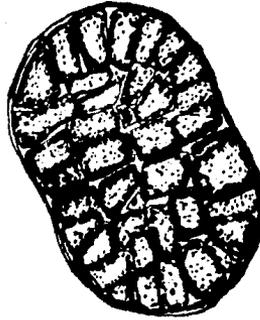
- a.- colonias uniformes, redondeadas o a manera de cubos.
- b.- colonia con células cuadrangulares, aplanadas, dispuestas en series.
- c.- colonias dividiéndose en los tres planos del espacio.

LAMINA 10

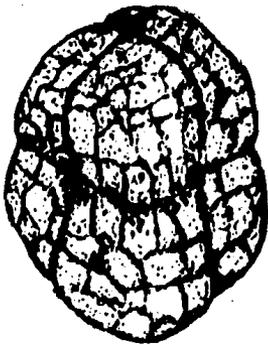


10 μ m

d



b



4 μ m

c

Nostoc parmelioides KÜTZING, 1888.

Los filamentos se encuentran dentro de una gelatina común, son básicamente rectos, flexibles, a menudo enredados, con una delgada vaina distinguible.

Las células que constituyen un filamento se presentan a manera de rosario, pueden ser esféricas, subsféricas o en forma de barril. Los heterocistos son subsféricos, ya sea intercalares o terminales.

La multiplicación es por medio de acinetos de forma elipsoidal, que a menudo se observan reunidos en cadena.

Dimensiones: Células de 4.5 a 5.6 μm de largo X 4.5 μm de ancho.

Filamento de 4.5 μm de ancho.

Heterocistos de 5.6 a 6.4 μm de largo X 5.0 a 5.6 μm de ancho.

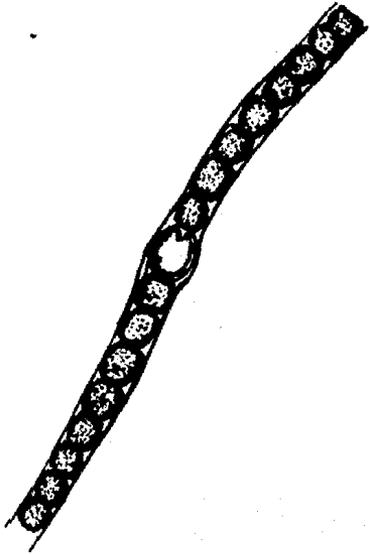
Aqinetos de 5.6 a 6.7 μm de largo X 4.5 a 5.6 μm de ancho.

Colecta: En muestras de aire de Ciudad Universitaria, México, D.F.

LAMINA 11

- a.- filamentos mostrando células vegetativas y heterocistos, observándose la delgada vaina distinguible.
- b.- filamento de pocas células con un heterocisto en un extremo y un acineto en el otro.
- c.- heterocisto.
- d.- acineto.

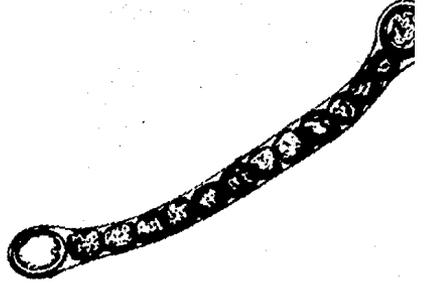
LAMINA II



a



b



c



d

5 μ m

III.5. Cuadros Sinópticos

Con la información antes generada e investigada, se procede a ordenar a las especies de algas descritas, de acuerdo con los siguientes criterios: hábitat original, forma de vida del organismo, forma celular, tamaño celular, así como también el tipo y grosor de la cubierta de la célula.

El hábitat original de procedencia de los organismos es el citado en la bibliografía. El resto de los criterios de sinopsis fueron observados en este trabajo, durante el seguimiento de las historias de vida de cada especie.

Al analizar el hábitat original de las especies de algas descritas (fig. III.5.A.), básicamente, éstas provienen de dos hábitats, el terrestre y el acuático. La mayoría de ellas (88%) son terrestres bentónicas y sólo dos de las 18 especies estudiadas (12%) son acuáticas planctónicas. Las especies terrestres, pueden ser, a su vez, edáficas, epilíticas, epifélicas, epipélicas o litofílicas, de acuerdo al tipo de sustrato donde habitan; mientras que las dos especies acuáticas analizadas, son neustónicas. La mayoría de las especies terrestres son edáficas (53%), con una sola especie litofílica (6%). Cabe mencionar que cuatro especies terrestres pueden habitar indistinta o exclusivamente sobre suelo, rocas o madera. La especie Diogenes bacillaris no se incluye en la figura ya que es un organismo que sólo ha sido descrito en cultivos de laboratorio (Prescott, 1980).

En lo que respecta a las formas de vida de las especies de algas estudiadas (fig. III.5.B) se presentan tanto células libres como filamentos y colonias, siendo la mayoría de ellas (44%) células libres y las menos frecuentes (22%) las colonias. Las especies de forma de vida libre son, en su mayoría, células solitarias e inmóviles, sin embargo Diogenes bacillaris, Chlorococcum diplobionticum y Chlorococcum ellipsoideum, a menudo se observan como células aglutinadas; y con respecto a la movilidad, las células vegetativas de Chlamydomonas aglôeformis son móviles, al igual que las zoosporas de las dos especies de Chlorococcum analizadas. Los filamentos que se presentan son generalmente largos, sueltos y rectos, aunque se encuentran porciones onduladas y fragmentación característica como en Hormidium subtile, también se observan filamentos reunidos en masa como en Ulothrix tenerrima, formando espirales como Lyngbya holsatica, con una vaina común como Nostoc parmelioides o filamentos con falsas ramas tanto simples como dobles en Plectonema gracillimum. Dentro de las especies formadoras de colonias destaca Scenedesmus acutus, porque se mantiene como células solitarias durante casi todo su ciclo de vida (Rivera, 1985) y una vez que forma su colonia, ésta es un cénobio característico de cuatro o múltiplos de cuatro células. Resalta también Botryokoryne simplex que presenta una fase unicelular y móvil durante su etapa reproductiva.

Tomando en cuenta únicamente a las células vegetativas, se encuentran primordialmente cuatro formas celulares: esférica, cilíndrica, rectangular y cuadrangular. (fig. III. 5. C.). La mayoría de las especies (55%) son de forma esférica, poco frecuentes son las de forma cilíndrica (22%) y las rectangulares (17%) y sólo una especie (6%) tiene forma cuadrangular en sus células vegetativas. Cabe mencionar que todos los organismos revisados tienen variaciones en sus formas celulares a lo largo de sus historias de vida, desde estadios tales como zoosporas y autosporas, hasta células seniles, de esta manera, dentro de las células esféricas existen aquellas que no varían, es decir, esféricas propiamente dichas; aquellas que cambian de subsféricas a esféricas; las que varían de esféricas a elípticas y las que sufren modificaciones de una forma esférica a una forma particular. De estos grupos, la mayoría de las especies (30%) corresponde al de variaciones de subsféricas a esféricas, siendo las menos frecuentes (10%) las que cambian a formas particulares. Dentro de las formas celulares cilíndricas, están las cilíndricas propiamente dichas y las que sufren variaciones en torno a su forma cilíndrica, siendo la mayoría (50%) de forma cilíndrica sin cambios. Tanto las células rectangulares como las cuadrangulares, no sufren modificaciones. Las células cilíndricas son aquellas aproximadamente dos veces más largas que anchas. Las células rectangulares son aquellas cuyo lado largo es transversal al filamento, mientras que el corto es paralelo a éste; finalmente, las células cuadrangulares son el resultado de la división celular en dos planos.

Al hablar del tamaño celular de las especies de algas descritas (fig. III. 5. D.) se toma en cuenta la forma de las células de las mismas y al igual que se consideró únicamente a las células vegetativas para el análisis de la forma, sólo se hace referencia a esa etapa de la historia de vida, para efectuar el análisis del tamaño. Las formas celulares esféricas se agrupan en tres intervalos de tamaño:

\leq a 12 μm de diámetro; de 12 a 24 μm de diámetro y de 24 a 36 μm de diámetro siendo las más frecuentes (70%) las que miden \leq a 12 μm de diámetro, con una sola especie (10%) ubicada en el último intervalo. En cuanto a las formas cilíndricas, se establecieron solamente dos intervalos, \leq a 10 μm de largo y de 10 a 20 μm de largo, tomándose en cuenta sólo el largo celular, con objeto de considerar el tamaño máximo de la partícula para la dispersión atmosférica; aquí prevalecieron las especies pertenecientes al segundo intervalo establecido (75%). De la misma manera se hicieron dos intervalos para las células rectangulares: de 1 a 2 μm de largo y de 2 a 3 μm de largo, siendo más frecuentes (66%) las de éste último intervalo; cabe mencionar que las formas celulares rectangulares, por pertenecer a especies filamentosas, son relativamente células pequeñas al compararse con las cilíndricas, por lo que los intervalos son más estrechos.

La especie con células cuadrangulares se ubica en un intervalo de tamaño de 1 a 4 μm de largo. A través de la historia de vida no sólo se presentan cambios morfológicos del organismo, sino también dimensionales, es decir, las autosporas y las zoosporas, generalmente son más pequeñas que las células vegetativas y éstas, a su vez, son más pequeñas que las células seniles, así, por ejemplo, las especies de Chlorococcum aumentan mucho su tamaño cuando llegan a la fase estacionaria de crecimiento y, particularmente Chlorococcum diplobioticum, puede hasta triplicar el tamaño de sus células vegetativas en sus células seniles, hecho que le permite abarcar un amplio intervalo de 12 μm a 36 μm de diámetro, con un considerable aumento en el grosor de su pared celular.

Así como se tomó en cuenta la forma celular para el análisis del tamaño, ahora se recurre a las formas de vida para analizar las características de la cubierta celular de los organismos en cuestión (fig.III.5.E.). Para las formas de vida de células libres, la única cubierta celular es su pared, la cual puede ser tenue, delgada o gruesa, considerando como tenue, una fina capa exterior a la membrana plasmática; como delgada, una capa firme, fácilmente observable y como gruesa, una capa de considerables dimensiones, muy notoria, que le confiere cierta protección celular. En este grupo predominan las células libres de pared delgada (63%). En lo que respecta a las colonias y filamentos, generalmente existe como cubierta celular, una vaina, la cual es una secreción de la pared celular y puede ser común, es decir, rodeando a una colonia completa o a un grupo de filamentos, o bien, individual, rodeando a las células que constituyen a una colonia o a un sólo filamento. En este grupo predominan las colonias y filamentos con una vaina individual (73%). Entre los organismos cuya forma de vida son células libres, sobresalen las especies de Chlorococcum, cuyas paredes son capaces de alcanzar hasta 5 μm de grosor. Como un caso particular de las especies coloniales, Myxosarcina concinna puede poseer tanto una vaina común que rodea a toda la colonia, como también una vaina individual en cada una de sus células. Nostoc parmelioides es la única especie filamentosa, cuyos filamentos no están libres, sino contenidos dentro de una vaina común.

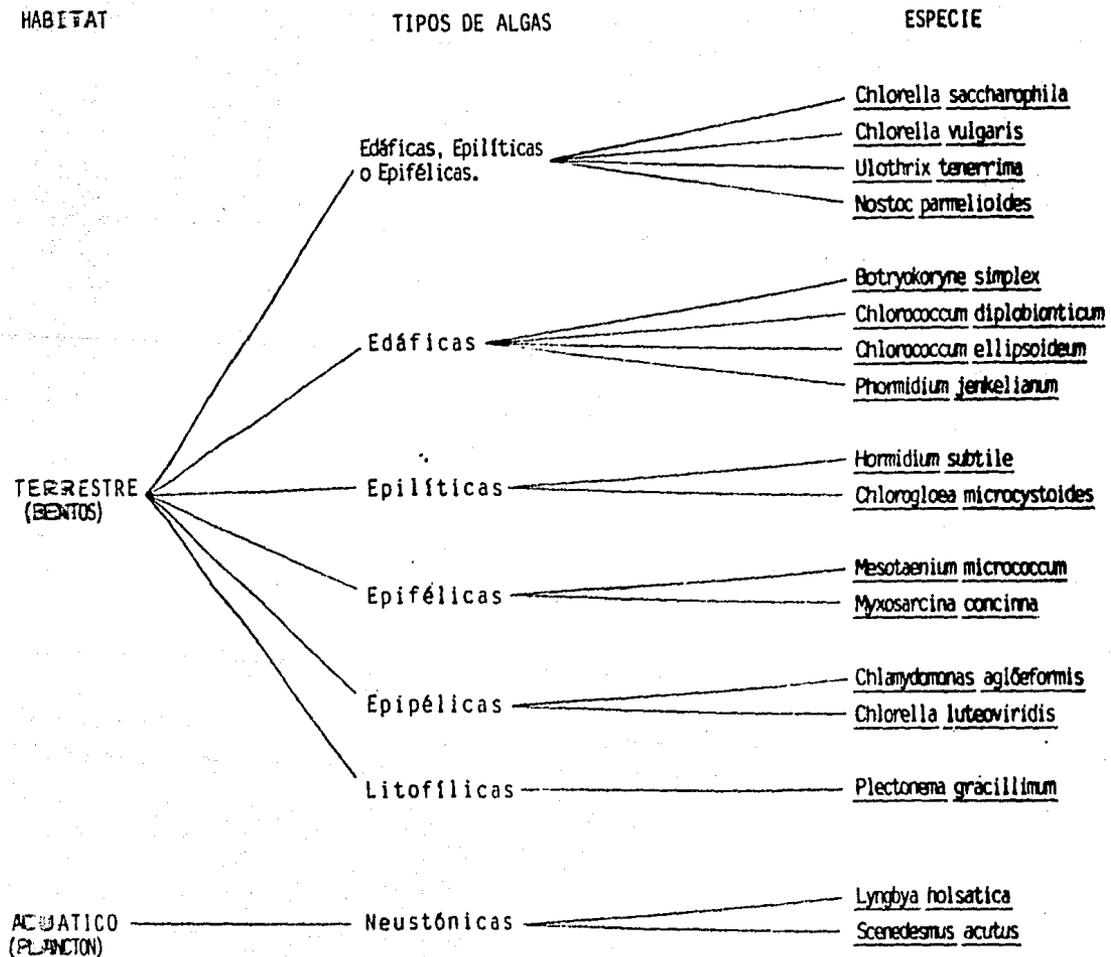


Fig. III.5.A. Cuadro sinoptico del Habitat .

FORMAS DE VIDA

ESPECIE

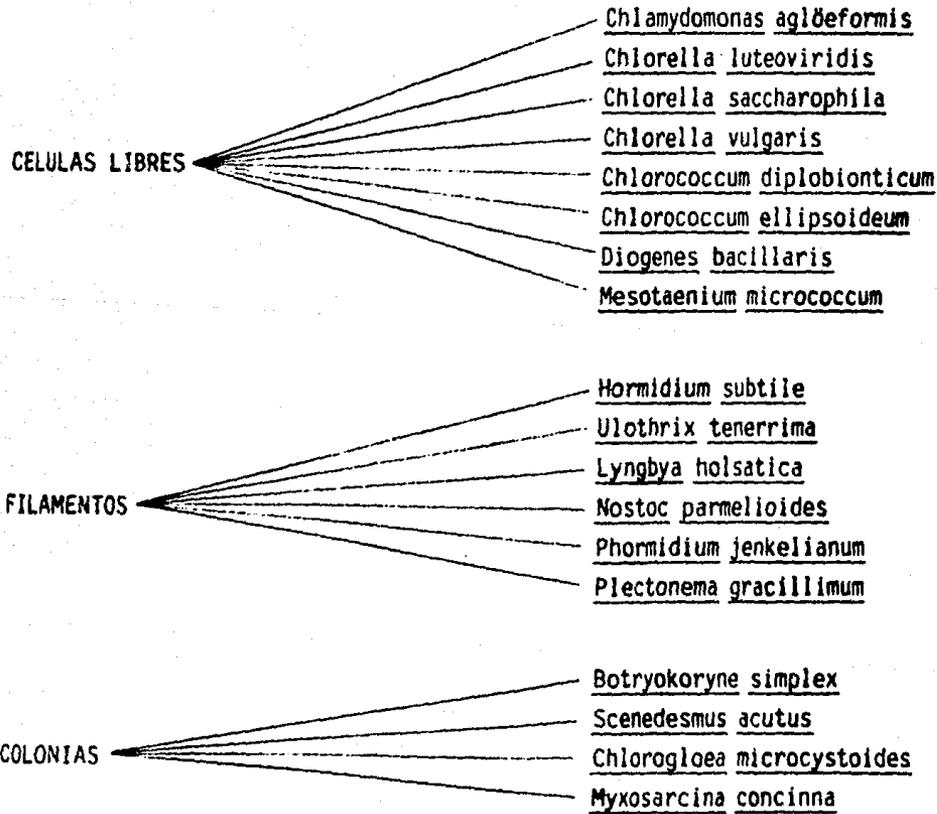


Fig. III.5-B. Cuadro sinoptico de Formas de vida .

FORMA CELULAR

VARIACIONES MORFOLÓGICAS A LO LARGO DE LA HISTORIA DE VIDA

ESPECIE

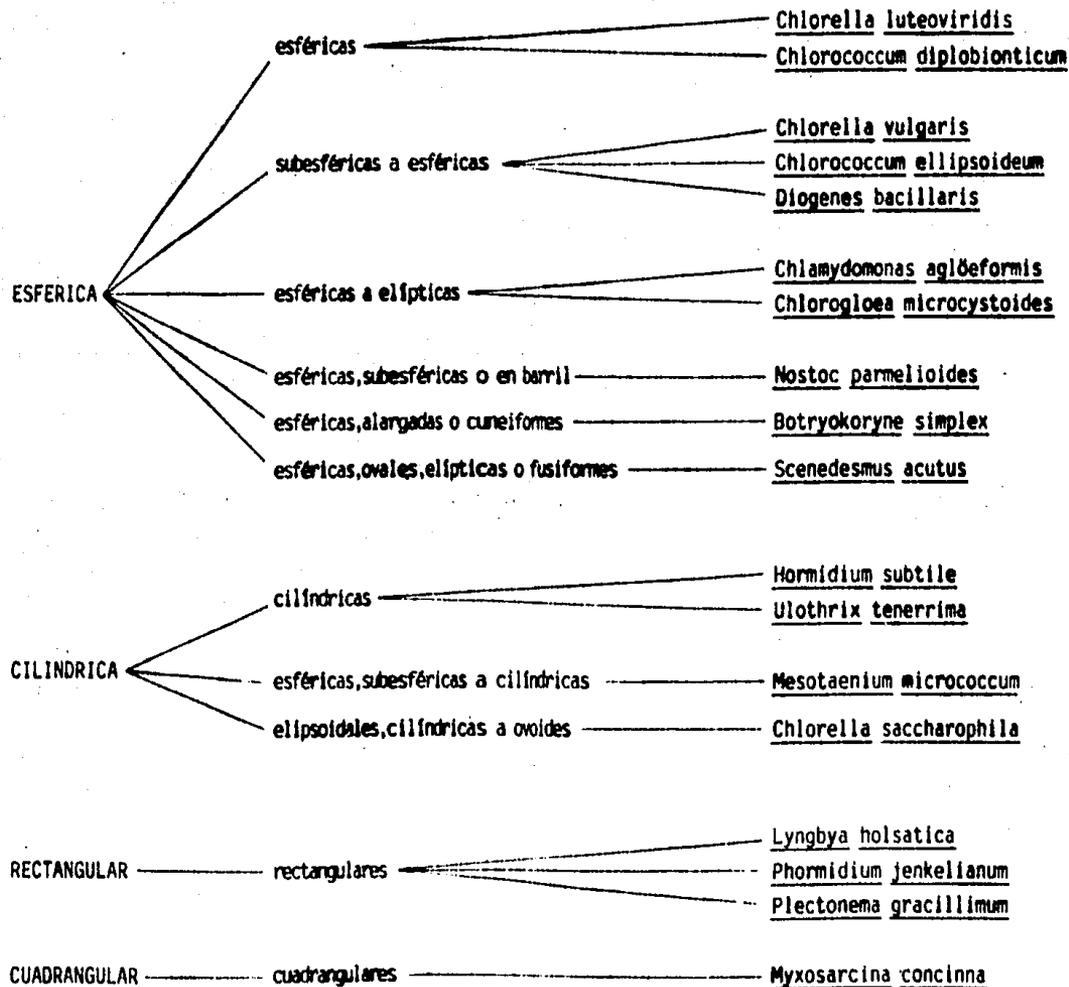


Fig. III. S.C. Cuadro sinóptico de Formas celulares.

FORMA CELULAR

INTERVALO DE TAMAÑO

ESPECIE

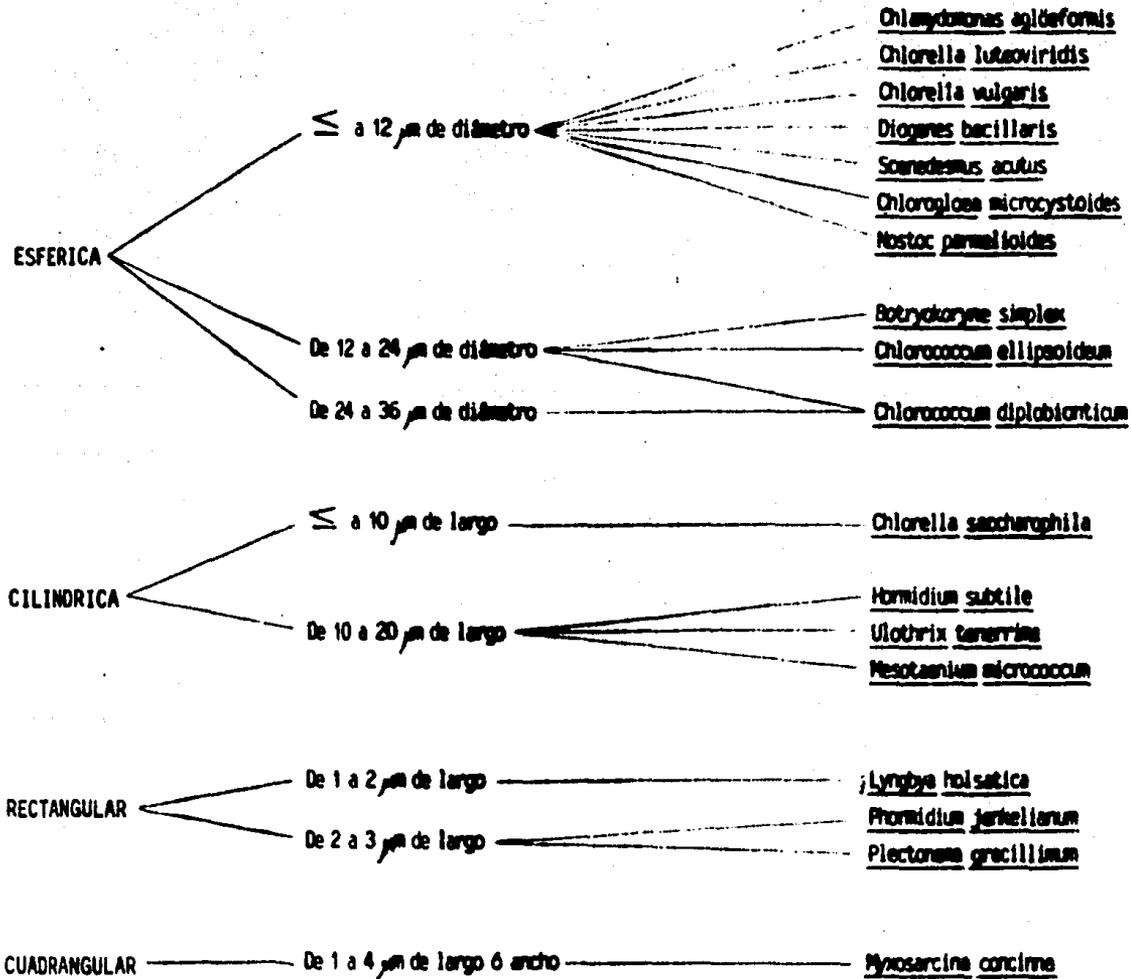


Fig. III.5-D. Cuadro sinóptico de Tamaños celulares .

FORMA DE VIDA

TIPO DE CUBIERTA CELULAR

ESPECIE

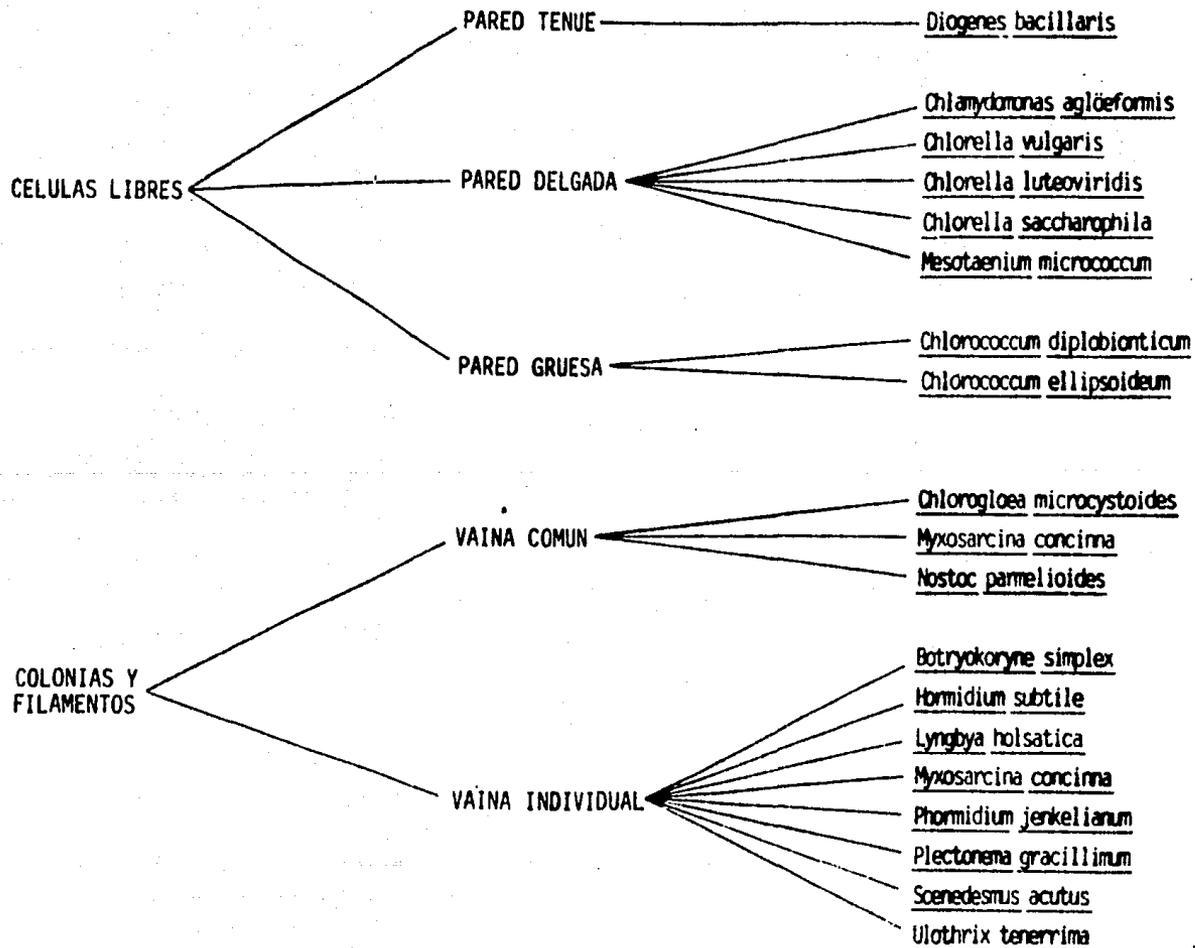


Fig. III.5.E. Cuadro sinóptico de Cubiertas celulares .

IV. D I S C U S I O N

IV.1. Ubicación de las especies de aeroalgas, de acuerdo al grado de representación de las características analizadas consideradas como "ideales".

Las características mejor representadas entre los organismos y que han sido consideradas como "ideales", son las siguientes:

La mayoría de las especies de algas descritas pertenecen a un hábitat terrestre, bentónico, siendo éstas, básicamente edáficas; son de forma de vida de células libres, generalmente de forma esférica, con variaciones de formas subesféricas a esféricas a lo largo de su historia de vida, incluidas en un intervalo de tamaño de $\leq 12 \mu\text{m}$ de diámetro y, finalmente, en relación a la cubierta celular, en las células libres prevalecen las paredes delgadas y en las formas coloniales y filamentosas, predominan las vainas individuales.

Una vez establecidas las características "ideales" o mejor representadas entre los organismos estudiados, se procede a ordenar a las especies progresivamente, de acuerdo al grado en que tienen representadas dichas características. (Tabla IV.1.1.) Posteriormente bajo este criterio, se determina el tipo de especie de alga "ideal" aerotransportada, así como las especies que puedan ser consideradas como exitosamente dispersables en la atmósfera.

De esta manera la especie Chlorella vulgaris, ocupa la primera posición, al tener bien representadas la totalidad de las características consideradas; en 2º lugar se encuentra Chlorococcum ellipsoideum, cumpliendo con todo, excepto en lo referente a la cubierta celular y al tamaño, características que tiene moderadamente representadas. El 3º y 4º lugares los ocupan respectivamente, Chlorococcum diplobonticum y Scenedesmus acutus, ambos con la misma puntuación, sin embargo Ch. diplobonticum ocupa el tercer lugar por ser una especie edáfica y de forma de vida de células libres, mientras que S. acutus es una especie acuática y colonial, que alcanza a ubicarse en este lugar por la razón de que se ha considerado que tiene las características "ideales" de hábitat y forma de vida, moderadamente representadas, ya que, por un lado, la especie S. obliquus, sinonimia de S. acutus, ha sido reportada del suelo por Fritsch y Salisbury (1915) (Round, op. cit.) y por otro lado, Rivera (op.cit) ha reportado que S. acutus se man tiene como células solitarias durante casi toda su historia de vida.

Las especies Chlamydomonas aglòeformis y Chlorella luteoviridis, se encuentran en la misma posición (5º lugar), por tener igualmente representadas las características analizadas. Diogenes bacillaris ocupa el 6º lugar con 3.25 puntos.

Las posiciones 7 y 8 las ocupan respectivamente, Botryokoryne simplex y Chlorella saccharophila, las dos con 3.0 puntos, pero mejor colocada la primera por tener representadas cuatro de las cinco características revisadas, mientras que Ch. saccharophila sólo tiene tres. En 9º lugar se ubica a Nostoc parmelioides primera especie de la División Cyanophyta que aparece en la presente ordenación de organismos, ocupando este lugar, posiblemente, por ser una especie formadora de estructuras de resistencia como los aquinetos. Con 2.0 puntos cada una, se localiza a Mesotaenium micrococcum, Phormidium jenkelianum y a Ulothrix tenerrima, ocupando el 10º, 11º y 12º lugares, respectivamente, considerando primero que M. micrococcum es la única especie de las tres que tiene forma de vida de células libres y después que Ph. jenkelianum es reportada exclusivamente del suelo, mientras que U. tenerrima puede encontrarse indistintamente en suelo, rocas o madera. En 13º lugar está la especie colonial Chlorogloea microcystoides; ubicadas en el 14º puesto, se encuentran, Phormidium subtile y Myxosarcina concinna, ambas con la característica de la cubierta celular bien representada y, finalmente con la misma puntuación (1.0 punto), Plectonema gracillimum y Lyngbya holsatica, ocupan las dos últimas posiciones cumpliendo en lo referente a la cubierta celular también, pero a diferencia de las especies ubicadas en el 14º lugar, P. gracillimum ocupa la 15va. posición por ser una especie litofílica y en el lugar 16º y último, L. holsatica, por ser un organismo acuático.

Tabla IV.1.1. Ubicación de las especies de algas analizadas, de acuerdo al grado de representación de las características "ideales".

DIVISION	ESPECIE	HABITAT ORIGINAL	FORMA DE VIDA	FORMA CELULAR	TAMANO CELULAR	CUBIERTA CELULAR	PUNTOS	POSICION
		Terrestre Algas Edáficas	Células libres	Subesférica a esférica	Células de $\leq 12 \mu\text{m} \phi$	Pared delg. vaina ind.		
CHLOROPHYTA	<i>Botrykoryne simplex</i>	***	-	**	**	***	3.0	7º
	<i>Chlamydomonas aglobiformis</i>	-	***	**	***	***	3.50	5º
	<i>Chlorella luteoviridis</i>	-	***	**	***	***	3.50	5º
	<i>Chlorella saccharophila</i>	***	***	-	-	***	3.0	8º
	<i>Chlorella vulgaris</i>	***	***	***	***	***	5.0	1º
	<i>Chlorococcum diplobioticum</i>	***	***	**	**	**	3.50	3º
	<i>Chlorococcum ellipsoideum</i>	***	***	***	**	**	4.0	2º
	<i>Diogenes bacillaris</i>	-	***	***	***	*	3.25	6º
	<i>Hormidium subtile</i>	-	-	-	-	***	1.0	14º
	<i>Mesotaenium micrococcum</i>	-	***	-	-	***	2.0	10º
CYANOPHYTA	<i>Scenedesmus acutus</i>	**	**	**	***	***	3.50	4º
	<i>Ulothrix tenerrima</i>	***	-	-	-	***	2.0	12º
	<i>Chlorogloea microcystoides</i>	-	-	**	***	-	1.50	13º
	<i>Lyngbya holsetica</i>	-	-	-	-	***	1.0	16º
	<i>Myxosarcina concinna</i>	-	-	-	-	***	1.0	14º
	<i>Nostoc parmelioides</i>	***	-	**	***	-	2.50	9º
	<i>Phormidium jenkilianum</i>	***	-	-	-	***	2.0	11º
<i>Plectonema gracillimum</i>	-	-	-	-	***	1.0	15º	

*** Bien representada 1.0
 ** Moderadamente representada 0.50
 * Poco representada 0.25
 - No representada 0.0

IV.2. Comparación de los resultados obtenidos con los datos experimentales.

Las algas Chlorophyta en general son el grupo taxonómico más representado, ya que sus miembros ocupan los primeros ocho lugares en similitud a la especie de alga "ideal" aerotransportada. Chlorella vulgaris es la especie que cumple con la totalidad de las características consideradas como "ideales", por tanto, bajo este criterio, Chlorella vulgaris es el tipo de especie "ideal".

Este organismo "ideal" se encontró tomando en cuenta las características de todas las especies identificadas y descritas para México hasta ahora, sin considerar su abundancia relativa en los muestreos, con el fin de no desviar los resultados hacia las especies más frecuentes y así conocer, al menos, algunas de las justificaciones que permiten su condición de aeropartículas.

Sin embargo, aún es necesario comparar estos resultados con los datos experimentales de frecuencia de aparición obtenidos por algunos autores, con el propósito de comprobar si el alga "ideal" aerotransportada que ha sido propuesta, se encuentra entre las especies más abundantes reportadas de la atmósfera.

De todos los trabajos sobre algas de la atmósfera realizados hasta la fecha en varias partes del mundo (Capítulo I, sección 1), sólo Smith (1973) y Rosas et al (en proceso) incluyen cuantificaciones totales de las especies.

En el trabajo de Smith (1973), realizado en Carolina del Norte, Chlorella vulgaris -alga ideal aerotransportada- se presenta con una frecuencia de 6.94%, sólo por debajo de la especie más abundante que es Chlorella minutissima, cuya frecuencia es de 7.29%. Para Smith, las Chlorococcales (Chlorella spp. y Chlorococcum spp.) son las algas más frecuentes.

En el trabajo de Rosas et al (en proceso), efectuado en México para dos ciudades, Minatitlán, Ver. y México, D.F., Chlorella vulgaris -alga ideal aerotransportada- se presenta en Minatitlán con una frecuencia de 13.8%, sólo por debajo de la especie más abundante que es Scenedesmus acutus, cuya frecuencia es de 36.1%. Para la Cd. de México, Chlorella vulgaris -alga ideal aerotransportada- se presenta con una frecuencia de 8.8%, por debajo de Nostoc parmelioides (17.7%) Chlorococcum diplobioticum (24.4%) y Scenedesmus acutus (42.2%). También para Rosas y colaboradores, las Chlorococcales (Chlorella spp., Chlorococcum spp. y Scenedesmus sp.) son algunas de las algas más frecuentes en la atmósfera.

Finalmente es importante hacer notar que en todos los reportes de aeroalgas, la División Chlorophyta es predominante y el Orden Chlorococcales, siempre está representado. (Capítulo I, sección 1).

V. CONCLUSIONES

V. 1. Conclusiones Generales.

- Las características del tipo de alga "ideal" aerotransportada, esto es, exitosamente dispersable en la atmósfera como partícula, son las siguientes:
Hábitat: Terrestre -bentos- (Alga edáfica).
Forma de vida: Células libres.
Forma celular: Células subesféricas a esféricas.
Tamaño celular: De 0 a 12 μm de diámetro.
Cubierta celular: Pared delgada o vaina individual.
- Chlorella vulgaris es el tipo de especie de alga "ideal" aerotransportada.
- Todas las especies de algas que en alguna fase de su historia de vida o en algún estado polimórfico, cumplan o se aproximen a las características de la alga "ideal" aerotransportada y, por consiguiente, de cierta manera sean similares a Chlorella vulgaris, deben considerarse como potencialmente dispersables en la atmósfera.
- La determinación del tipo de alga "ideal" aerotransportada es adecuada dado que, tanto en el trabajo de Smith (1973), como en el de Rosas et al (en proceso) Chlorella vulgaris es una de las especies más frecuentes.
- La división taxonómica de algas más representada en la atmósfera es la División Chlorophyta. El orden más frecuente es Chlorococcales, por lo tanto, se puede afirmar que la ficoflora atmosférica está constituida precisamente por algas Chlorophyta, Chlorococcales.

V. 2. Líneas de investigación propuestas.

- Es necesario que los muestreos de atmósfera se continúen, con objeto de verificar la frecuencia relativa de la especie "ideal" aerotransportada y de las especies afines.
- Dado que el tipo de especie de alga "ideal" aerotransportada se determinó con características ecológicas y morfológicas de las especies, dicha alga "ideal" se considera potencialmente dispersable en la atmósfera desde el punto de vista de su carácter de partícula. Sin embargo, es necesario hacer estudios que tomen en cuenta las características bioquímicas y genéticas de dichas especies, que pudieran estar involucradas en su sobrevivencia bajo condiciones altamente fluctuantes que se dan en la atmósfera. Con la información generada, determinar posteriormente el tipo de especie de alga "ideal" aerotransportada, ya no sólo desde el punto de vista de partícula atmosférica, sino también como organismo vivo capaz de sobrevivir en dicho medio.
- Desde el punto de vista de salud pública, es importante hacer la investigación del potencial alergeno del tipo de especie de alga "ideal" aerotransportada, así como de todas las algas Chlorococcales muestreadas hasta la fecha, empleando para ello, las cepas de la atmósfera.

BIBLIOGRAFIA.

- ARCHIBALD, P.A. y H.C. BOLD. 1970. Phycological Studies XI. The genus Chlorococcum. MENEGHINI. The Univ. Texas Pub. Nº 7015. 115 p.
- BOLD, H.C. 1970. Some aspects of the taxonomy of soil algae. Ann. N.Y. Acad. Sci. 175. 601-616.
- BOLD, H.C. y M.J. WYNE. 1978. Introduction to the Algae. Structure and Reproduction. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 706 p.
- BOURRELLY, P. 1970. Les Algues d' eau douce. Initiation a la Sistématique. III. Les Algues Bleue et Rouges. Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Ed. N. Boubée & Cie; Paris. 512 p.
- BOURRELLY, P. 1972. Les Algues d' eau douce. Initiation a la Sistématique. I. Les Algues Vertes. Ed. N. Boubée & Cie; Paris. 559 p.
- CARSON, J.L. y R.M. BROWN. 1976. The correlation of soil algae, airborne algae and fern spores with meteorological conditions on the Island of Hawaii. Pacific Science 30 (2): 197-206.
- COLEMAN, A.W. 1983. The roles of resting spores and akinetes in Chlorophyte survival. En; G.A. Fryxell (Ed.). Survival strategies of the algae. Cambridge University Press. 144 p.
- DARLEY, W.M. 1987. Biología de las Algas. Enfoque fisiológico. Limusa, México. 236 p.
- DESIKACHARY, T.V. 1959. Cyanophyta. Indian Council Agr. Res. New Delhi. 686 p.
- FOTT, B. y M. NOVAKOVA. 1969. A monograph of the genus Chlorella. The fresh water species. En: B. Fott (Ed.). Studies in Phycology. Praga Acad. 11-73.
- GEITLER, L. 1932. Cyanophyceae in Rabenhorst's Kryptogamenflora. Leipzig 14, 1196 p.
- HOBBS, P.V., D.A. BOWLE y L.F. RADKE. 1985. Particles in the lower troposphere over the High Plains of the United States. Part. I: Size Distributions, Elemental Compositions and Morphologie J. Clim. App. Meteorol. 24: 1344-1356.
- KANTZ, T. y H.C. BOLD. 1969. Phycological Studies IX. Morphological and taxonomic investigations of Nostoc and Anabaena in culture. The Univ. Texas Pub. Nº 6924. 67 p.
- PRESCOTT, G.W. 1980. How to know the freshwater algae. The Picture Key Nature Series. W.C.B. Dubuque, Iowa. 293 p.
- RAMANATHAN, K.R. 1964. Ulothricales. I.C.A.R. Monographs, New Delhi. 188 p.
- RIVERA, L. 1985. Aislamiento e identificación de algas muestreadas de la atmósfera de una zona urbana - Ciudad Universitaria-. Tesis Prof. Fac. Ciencias, U.N.A.M. 64 p.
- ROSAS, I., G. ROY-OCOTLA, P. MOSIÑO, A. BAEZ y L. RIVERA, 1987. Abundance and heterogeneity of algae in the México City atmosphere. Geof. Int. 26 (3) 359-373.
- ROSAS, I., G. ROY-OCOTLA y P. MOSIÑO. Meteorological effects upon variation of airborne algae in México. (En proceso) .
- ROUND, F.E. 1981. The Ecology of Algae. Cambridge University Press. 630 p.

- SIQUA, H. 1956. Horridium spp. Acta Reg. Soc. Ups. Ser. IV. 16, 3.
- SCHLICHTING, H.E., Jr. 1969. The importance of airborne algae and protozoa. Air. Pollut. Control Assoc. J. 19 (12): 946-951.
- SCHLICHTING, H.E., Jr. 1974. The release of microalgae from water surfaces. En: Proceedings of - eight international seaweed symposium . Bangor, North Wales, 18-23 August 1974. G.E. Fogg y W.E. Jones (Eds.). The Marine Science Laboratories, Menai Bridge 1981. p.p. 469-473.
- SCHLICHTING, H.E., Jr. 1975. Some subaerial algae from Ireland. Br. Phycol. J. 10: 257-261.
- SMITH, P.E. 1973. The effects of some air pollutants and meteorological conditions on airborne algae and protozoa. Air. Pollut. Control Assoc. J. 23 (10): 876-880.
- TIBERG, E., B. BERGMAN, B. WICTORIN y T. WILLEN. 1984. Occurrence of microalgae in indoor and - outdoor environments in Sweden. 5th Nord. Symp. Aerobiol. Session II : 24-29.
- WOLLE, F. 1884. Desmids of the United States and list of American Pediastrums Bethlehem, P.A. Moravian Publication Office.