

La flora ficológica de México es un proyecto de importancia tanto científica como económica.

Las Algas de México

JORGE GONZALEZ G.*

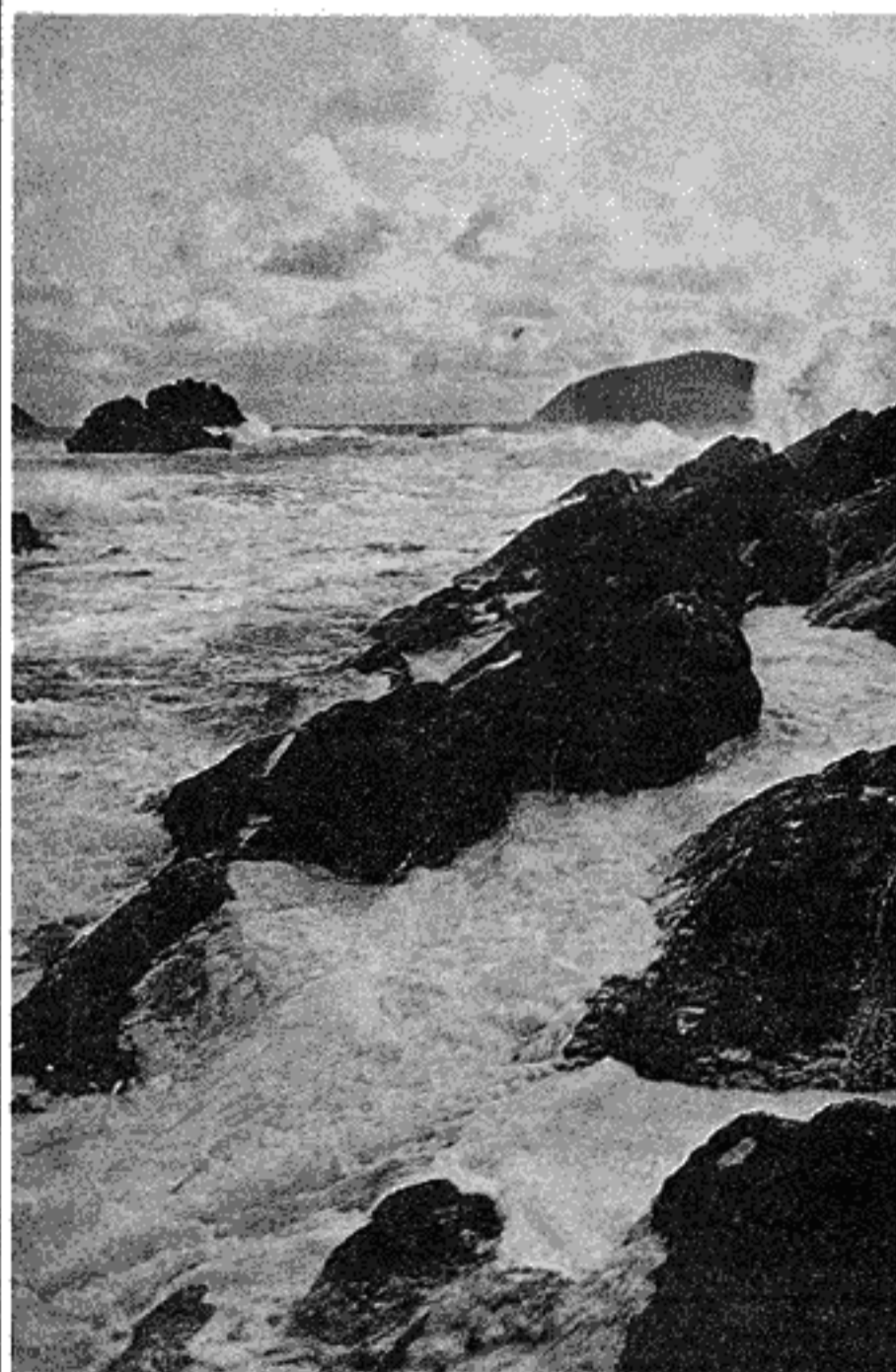


Foto: Linda Bartlett

* Profesor del Laboratorio de Ficología, Facultad de Ciencias, UNAM.

IMPORTANCIA ECONOMICA Y USOS DE LAS ALGAS

Las algas son un grupo de organismos con cuyos productos se tiene contacto cotidiano, aunque son pocas las personas que tienen conciencia de ellas. Su importancia tanto positiva como negativa es creciente para el hombre en la actualidad. Los usos incluyen desde el consumo como alimentación hasta la obtención de compuestos para la industria. Influyen negativamente tanto en forma directa como indirecta, como agentes de enfermedades y productores de toxinas (ver cuadro 1).

Son muchas las algas que son utilizadas como alimento, en el Oriente es parte de la dieta tradicional y en México son utilizadas desde la época prehispánica: el tecuitlatl, el amomoxtlí y el cocolín de los aztecas estaban compuestos principalmente por cianofitas que crecían y aún crecen en el Lago de Texcoco y otros lagos de la cuenca de México. Actualmente la producción mundial de algas para la alimentación es cada vez mayor, tanto de especies marinas como de agua dulce, y en México la producción de harina seca obtenida de *Spirulina platensis* del Lago de Texcoco alcanzó en 1982 la cantidad de 1 000 toneladas métricas.

Muchos son los productos obtenidos a partir de las algas que se utilizan en la industria. De ellas se obtiene yodo para productos farmacéuticos, potasa y sosa, y son ricas en compuestos de varios metales. Los principales productos obtenidos de algunas algas son los derivados de los componentes de la pared celular, los alginatos, el agar, la carragenina y la diatomita. Los tres primeros son utilizados por su capacidad de hacer soluciones viscosas y gelatinizantes y la última como abrasivo y filtro. Los alginatos se obtienen de feofitas especialmente de aguas templadas, y son utilizados en una gran variedad de productos. (Ver cuadro 2.)

El agar se obtiene de rodofitas, que en México son colectadas principalmente en la costa del Pacífico en Baja California. La carragenina es extraída también de rodofitas y es uno de los productos que más aplicaciones tiene. Por último la diatomita o

tierra de diatomeas consiste en depositaciones fósiles de paredes celulares de diatomeas marinas o dulceacuícolas.

Una práctica común en las poblaciones costeras es la de utilizar las algas marinas como fertilizantes y acondicionadores de suelos; también son utilizadas como forrajes o complemento a la alimentación del ganado. Algunas algas que crecen en suelos inundados tienen la capacidad de recuperar suelos salinos y calcáreos para la agricultura, aumentando su fertilidad y utilizando las sales excedentes; otras son capaces de aumentar la proporción de nitrógeno asimilable por los cultivos, especialmente el arroz.

Por la utilización de las algas es posible el tratamiento de las aguas negras para obtener aguas limpias y con un bajo contenido de sales minerales antes de descargarlas en ríos o lagos. En este tratamiento se obtienen cultivos algales que son factibles de utilización posterior. La acuicultura también emplea el cultivo masivo de algas para la producción de especies comestibles y comerciales, tanto marinas como dulceacuícolas.

Las algas han sido utilizadas tradicionalmente por la mayoría de las culturas para la cura y prevención de múltiples enfermedades, desde diarrea, constipación, enfermedades pulmonares y del hígado, gota y tratamientos para la piel; en la investigación farmacológica se han utilizado varios tipos de algas en la búsqueda de agentes antibacterianos y anticancerígenos.

Sin embargo las algas también tienen efectos negativos en las actividades humanas, las más importantes derivadas de los crecimientos masivos de ciertas especies que liberan toxinas o impiden el desarrollo normal de la comunidad acuática donde se producen. En el primer caso tenemos la marea roja que es producida por la liberación de toxinas de varias especies de

Dinofíceas —este caso se reproduce casi anualmente en las costas del Pacífico y el Golfo de México. En cuerpos de agua estancada o con poca corriente, el crecimiento excesivo de algas en la superficie impide el paso de la luz y por tanto la oxigenación adecuada para la sobrevivencia de los demás seres vivos.

Otro de los aspectos indeseables de las algas es su presencia en depósitos y suministros de agua potable, pues le confieren a ésta sabores y olores desagradables además de que obturan los filtros.

Las algas también tienen repercusión en el deterioro de la salud, pues las toxinas acumuladas por los organismos que las ingieren pueden causar la muerte inclusive de los seres humanos. También pueden ser agentes que producen dermatitis y alergias. En México, se ha reportado que producen deformaciones en las extremidades, para las cuales no existen actualmente antibióticos adecuados.

QUE SON Y COMO SON LAS ALGAS

Es fácil hablar de las algas como lo hemos hecho, pero difícil definir las y delimitarlas como objeto de estudio. Se agrupan bajo este término gran cantidad de organismos (aproximadamente 21 000 especies) que difieren notablemente en su forma, tamaño, estructura celular, metabolismo, composición bioquímica, tipo de ciclo de vida, hábitat, etc. No hay razón aparente para acomodar en un mismo grupo a organismos tan disímiles; ¿son las algas un grupo de organismos o una aglutinación de grupos reunidos arbitrariamente? Las algas son un conjunto extremadamente variable de organismos fotosintéticos con niveles de organización semejantes, producto de evoluciones paralelas.

CUADRO 1. IMPORTANCIA ECONOMICA DE LAS ALGAS

IMPORTANCIA NEGATIVA

- "putrefacción" de aguas domésticas e industriales
- modificación de sitios de recreo
- obturación de filtros de agua
- interferencias en la industria del papel y pulpa por formación de limos (baba)
- muerte de animales; efectos de toxinas en ganado vacuno, ovino, porcino, equino y aves de corral
- muerte de peces por toxinas y por asfixia
- muerte de seres humanos por ingestión de peces y mariscos envenenados
- daño a los humanos: alergias de la piel, enfermedades pulmonares y digestivas
- parásitos en plantas: té, cítricos, plátano.

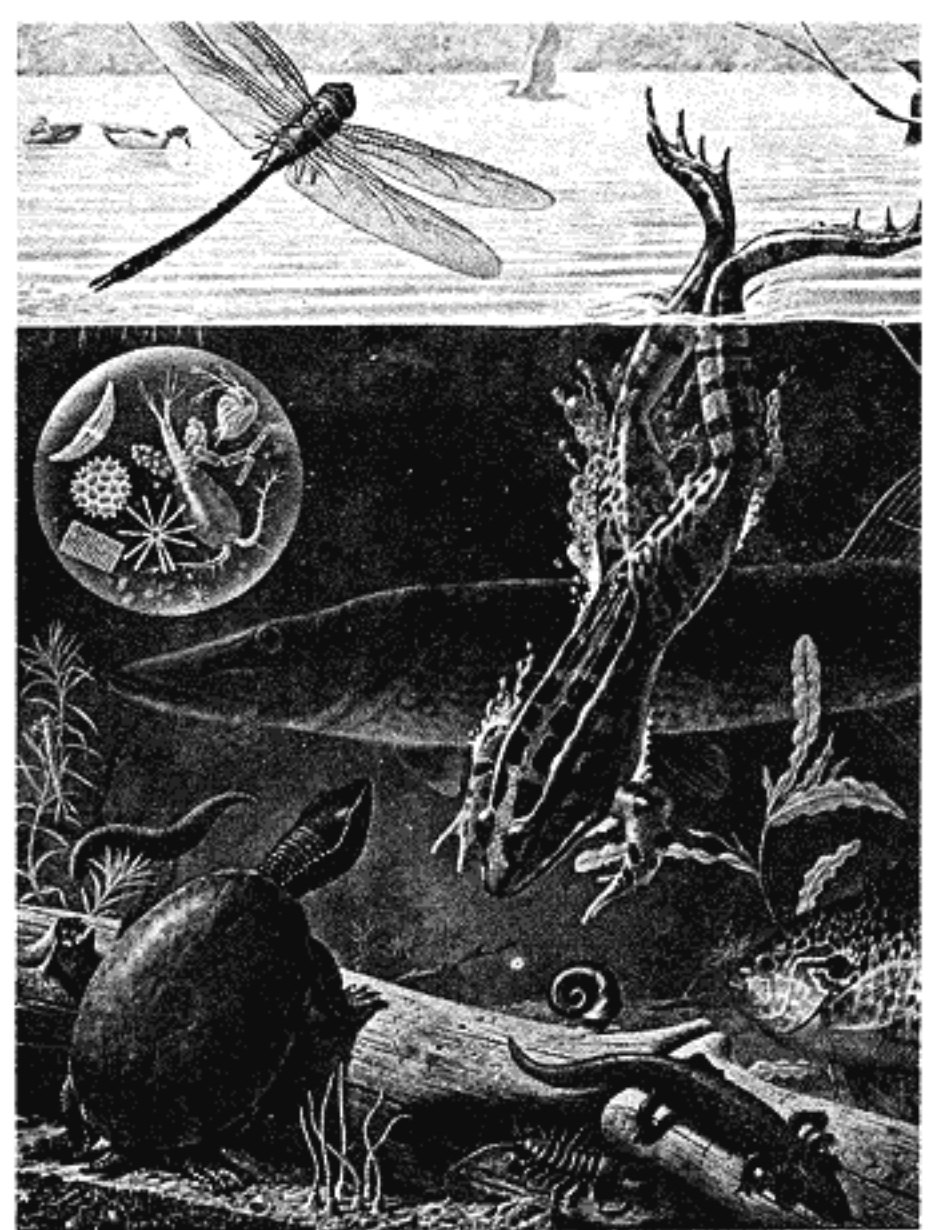
IMPORTANCIA POSITIVA

- alimento humano
- alimento para peces
- productos comerciales derivados de algas marinas y tierra de diatomeas
- productos medicinales
- fijación de nitrógeno y acondicionamiento de suelo, conservación de suelo, pioneros en formación o colonización de suelo
- lagunas de oxidación de aguas de desecho
- índices en los niveles de contaminación
- purificación de corrientes
- bioensayos en investigación
- investigación sobre cáncer
- investigación limnológica y oceanográfica
- evolución de la vida, problemas e investigación
- investigación paleontológica
- industria petrolera
- depósito de limo
- propiedades estéticas

Las razones biológicas de esta diversidad y unidad tan grandes se encuentran en el proceso de diversificación. Las algas no evolucionaron a partir de un ancestro común y es por esto que no hay un conjunto de caracteres unificadores de todas ellas, es decir, no hay un solo patrón estructural básico. A partir de ancestros diferentes han habido respuestas similares a presiones de selección semejantes, que han dado por resultado caminos evolutivos paralelos entre los descendientes de los diferentes grupos ancestrales, con estadios semejantes entre los caminos. Es decir, hay niveles de organización equivalentes determinados por respuestas adaptativas convergentes a los ambientes comunes en que se presentan y se han presentado a lo largo de su historia. Así encontramos que dentro de cada uno de los grupos emparentados pueden haber organismos unicelulares, cenobiales, filamentosos, coloniales, costrosos, con tejidos verdaderos, etc. Esto significa que, por ejemplo, dos algas unicelulares o dos filamentosas no necesariamente están emparentadas, mientras que una célula y un filamento sí pueden estarlo. Un análisis del patrón estructural básico, utilizando características citológicas y bioquímicas, permite entenderlo claramente. Para trabajar a las algas es necesario entonces, no sólo encontrar semejanzas sino entender los orígenes y significado de éstas. Las algas deben estudiarse por una parte en conjunto, como un grupo de grupos que forman una unidad ecológica, y por otra a cada división por separado como una unidad taxonómica y/o evolutiva o histórica.

Niveles de organización

Una de las características más notorias por las que pueden agruparse o dividirse las algas es por su estructura a nivel celular. Existen dos tipos de organización celular claramente diferenciados: procarionte y eucarionte. Las células con organización procarionte no presentan núcleo definido sino una región central que contiene material genético y que no está delimitado por ninguna membrana del resto del citoplasma. Tampoco



N. M. Seidler

Las algas se cuentan entre los organismos que se presentan en casi cualquier tipo de ecosistema, interactuando con una gran diversidad de seres y ambientes.

tienen organelos con dobles membranas como serían las mitocondrias y los cloroplastos. Las funciones de respiración y fotosíntesis se llevan a cabo en invaginaciones de una membrana sencilla hacia el citoplasma. Las algas verde-azules son procariontes.

CUADRO 2. UTILIZACION DE LA ALGINA EN PRODUCTOS INDUSTRIALES

USOS ALIMENTICIOS

Emparedados y merengues
 Condimentos para ensaladas
 Condimentos dietéticos
 Sazonador de escabeche
 Condimentos de carnes y pimienta
 Concentrados de naranja
 Bebidas a base de frutas
 Bebidas dietéticas
 Cerveza
 Helados y postres congelados relacionados
 Queso cotija cremoso
 Queso crema
 Preparados pasteurizados de queso
 Mantecas vegetales enlatadas
 Chow mein enlatado
 Estofados de carne enlatados
 Aderezos para pasteles
 Budines y rellenos para pasteles y empanadas
 Jarabes para panqués
 Jarabes de bayas (frutos)
 Mezclas para postres instantáneos
 Bebidas de chocolate
 Dulces
 Pastas o batidos para pastelería

USOS INDUSTRIALES

Pinturas de base de agua
 Cementos para construcción
 Soldadura
 Pastas para impresiones textiles
 Encolados textiles y de papel
 Espesamiento y cremosidad del látex
 Adhesivos
 Forros de papel
 Papel corrugado
 Cartones para alimentos, jabones y detergentes
 Cubiertas para alimentos
 Compuestos para calentadores
 Compuestos para sellar latas
 Separadores para placas de baterías
 Cubiertas contra hongos
 Limpiadores (pulidores) de cera
 Barnices para piezas de cerámica
 Clarificación de remolachas
 Barnices para uñas

USOS FARMACEUTICOS

Tabletas y suspensiones antibióticas
 Compuestos para placas dentales
 Pastas de dientes
 Pomadas quirúrgicas
 Emulsiones minerales aceitosas
 Ungüentos medicinales
 Tabletas tranquilizantes
 Lociones para las manos
 Máscaras de embellecimiento facial



En la organización eucarionte existe un núcleo y organelos rodeados por una doble membrana que los separa del resto del citoplasma. Dentro de los eucariontes hay diversos grados de complejidad, desde las células sin diferenciación interna hasta las células con marcada polarización en la ubicación de ciertos organelos como son flagelos y mancha ocular. Todas las algas excepto las verde-azules son eucariontes.

Otra característica estructural básica que se puede usar para el agrupamiento de las algas es la complejidad de su cuerpo en función del número de células que lo constituye. Las hay de una sola célula, las unicelulares o protofitas, y las de más de una célula, las multicelulares o talofitas. En el nivel unicelular se ubican las algas menos complejas, constituidas por una célula que desempeña todas las funciones básicas de los seres vivos. Son unicelulares algunas algas clorofitas, rodofitas, cianofitas y cromofitas.

Las talofitas se caracterizan por poseer un cuerpo multicelular formado por una masa de células nada o poco diferenciadas llamado talo. Hay una amplia gama de talos con diferentes grados de complejidad estructural, de los cuales se explican a continuación los más frecuentemente encontrados en las algas (ver figura 1).

Cenobios. Lo presentan organismos cuyo cuerpo está constituido por un agregado celular de forma esférica, cilíndrica, etc., rodeado por una matriz gelatinosa común. Este talo resulta de la no separación de las células hijas durante la división celular. Este nivel está relacionado con el unicelular ya que en los cenobios cada una de las células integrantes conserva autonomía morfológica. Muchas cianofitas, cromofitas y algunas clorofitas presentan este nivel de organización.

Cenocitos. En este nivel el talo está constituido por una masa protoplásmica multinucleada en forma de tubo o sifón que resulta de repetidas divisiones nucleares sin que haya división citoplasmática. Se encuentra en las clorofitas y cromofitas.

Colonias. Los organismos con este nivel están formados por agrupaciones celulares en las cuales se presenta división del trabajo. Estas agrupaciones pueden ser de dos tipos: consorcios y colonias verdaderas.

En los consorcios las células en un principio están aisladas a pesar de tener un origen común y de pertenecer a la misma generación. Se reúnen en una fase avanzada de su vida para formar un organismo único multicelular. Este nivel de organización lo presentan algunas clorofitas.

En las colonias verdaderas las células que forman el talo permanecen unidas desde un principio, descendiendo todas de una sola célula y entre las cuales existen comunicaciones protoplasmáticas. Es común en la clorofitas y algunas cianofitas y cromofitas.

Filamentos y láminas. Los organismos filamentosos y laminares pueden considerarse multicelulares pues son el resultado de la división sucesiva de una célula de la cual se derivan células íntimamente unidas por membranas comunes. Se derivan de una marcada polarización del huso acromático durante la división celular, de modo que resulta una hilera de células orientadas en la misma dirección, formando filamentos simples.

Cuando varía la dirección del huso en la división celular se origina un filamento ramificado. Si se alterna periódicamente la dirección del huso se forma una lámina. Hay filamentos y láminas en la cianofitas, rodofitas, clorofitas y cromofitas.

Figura 1. Algunos ejemplos de los grados de complejidad estructural que se presentan en las algas. 1) Unicélulas (*Chlamydomonas*, *Navicula*); 2) Cenobio (*Merispomedia*); 3) Cenobio (*Derbesia*); 4) Colonia (*Volvox*); 5) Consorcio (*Hydrodictyon*); 6) Filamentos simple y ramificado (*Lyngbya*, *Cladophora*); 7) Lámina (*Porphyra*); 8) Tejidos (*Dictyota*, *Ceramium*). Los dibujos no están en la misma escala.

Tejidos verdaderos. Los tejidos verdaderos se originan por la actividad de una célula apical dando lugar a células firmemente unidas entre sí y que originan, por divisiones sucesivas y crecimiento celular, una masa tridimensional. Este nivel de organización lo presentan algunas rodofitas, clorofitas y cromofitas.

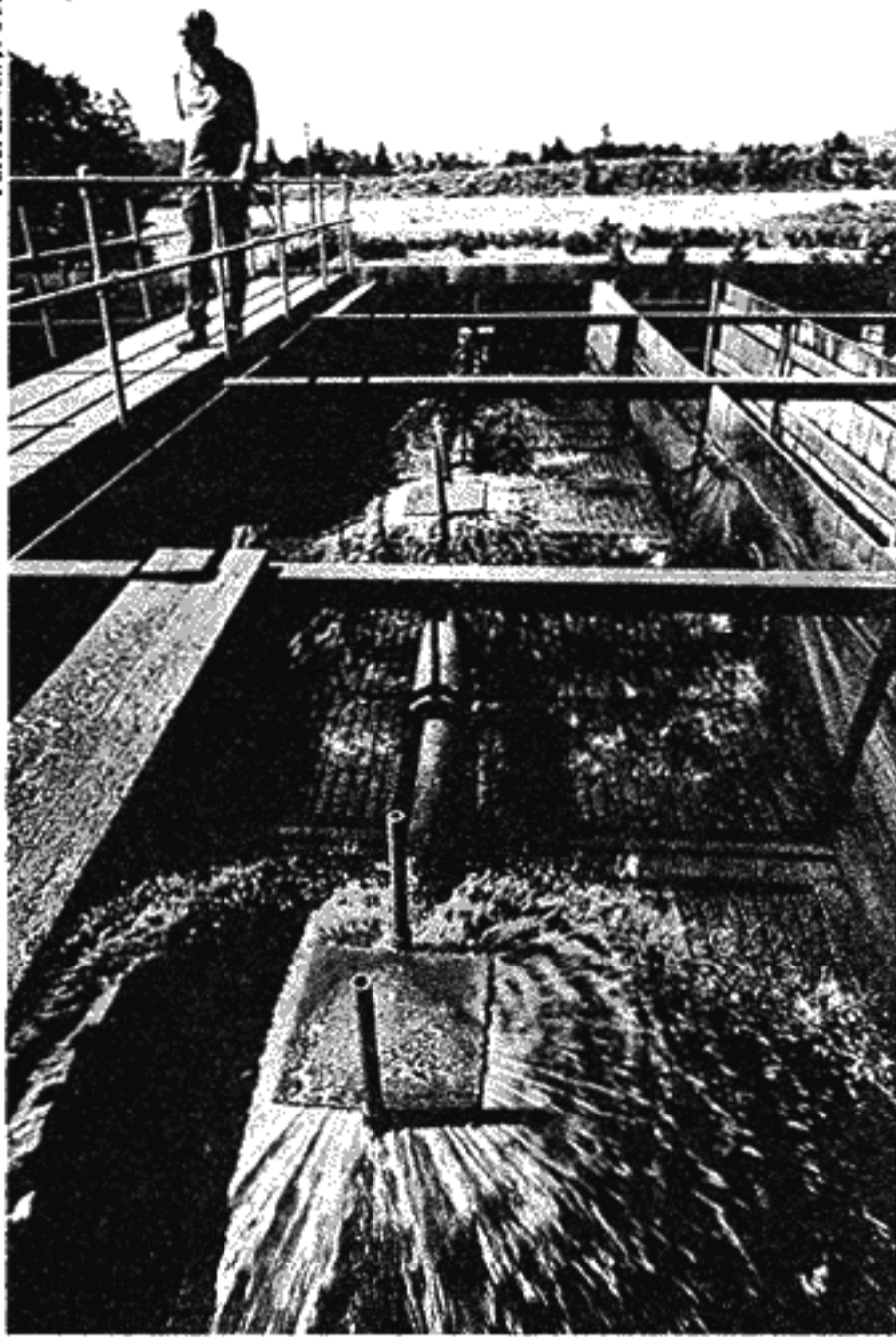
Grupos taxonómicos

Una manera de agrupar a las algas tomando en cuenta relaciones de parentesco y afinidades en sus patrones estructurales básicos es la que las reúne en jerarquías taxonómicas, siendo la más alta la División. A continuación se explican las que tienen mayor número de representantes. En los cuadros 3 y 4 se presentan las características de unidad (patrón estructural básico) y en el texto las características de diversidad.

Cianofitas. La diversidad de niveles de organización abarca formas unicelulares, cenobiales, coloniales y filamentosas simples y ramificadas. Varían de tamaño desde unas cuantas micras hasta varios centímetros. Carecen de células flageladas pero sí presentan movimiento por medio de oscilación y deslizamiento.

Aún no se les ha observado reproducción sexual; se reproducen asexualmente por medio de fragmentación, fisión binaria y por estructuras especializadas.

Se encuentran ampliamente distribuidas en ambientes de agua dulce, marina, salobre y en el suelo.



Las algas posibilitan el tratamiento de aguas negras para obtener aguas limpias con pocas sales minerales, antes de descargarlas en ríos y lagos.

Rodofitas. Presentan una diversidad morfológica de niveles de organización mucho mayor que la de las cianofitas, que incluye formas unicelulares, laminares y filamentosas simples y complejas que se ramifican en filamentos finos con sistemas de fijación y estípites así como incrustantes en piedra caliza. En algunas hay punteaduras que conectan el citoplasma de células adyacentes. Tienen una amplia variación de tamaño desde algunas micras hasta más de un metro.

Presentan reproducción asexual así como uno de los ciclos de vida más complejos —la reproducción sexual con alternancia de tres generaciones: esporofítica, gametofítica y carposporofítica (ciclo de vida trifásico).

Las algas rojas son predominantemente marinas pero también las hay dulceacuícolas. Participan en la formación de arrecifes en los trópicos.

Clorofitas. Sus niveles de organización van desde las unicelulares, colonias y filamentos hasta formas complejas con porciones erectas y postradas bien desarrolladas. Su tamaño varía desde una micra hasta 1.5 metros.

En este grupo se presentan tanto la reproducción asexual por esporas, fragmentación, etc., hasta la reproducción sexual con alternancia de fases esporofíticas y gametofíticas (ciclo de vida bifásico). La mayoría de las especies presentan células flageladas en alguna etapa de su ciclo de vida ya sea el adulto, las esporas o los gametos.

Las clorofitas abundan en ambientes dulceacuícolas, en todo tipo de condiciones y en las zonas litorales marinas.

Crisofitas. Pueden ser células desnudas o presentar escamas, lórica o paredes celulares. Las células vegetativas frecuentemente son flageladas o tienen esporas móviles. Estas algas pueden ser unicelulares, ameboidales, coloniales, cenocíticas o filamentosas ramificadas o no.

Se reproducen asexualmente por división celular, fragmentación o esporas. Se ha observado reproducción sexual en algunas especies (ciclo de vida monofásico). Forman una espora de resistencia característica llamada estatospora.

Son principalmente dulceacuícolas pero también hay algunas especies marinas.

Xantofitas. Pueden ser células desnudas o presentar pared celular de celulosa o pectina. Hay unicelulas, etapas ameboides, colonias y filamentos simples o ramificados, algunas veces multinucleados.

Se reproducen asexualmente por división celular, fragmentación o esporas. Se ha observado reproducción sexual en algunas especies (ciclo de vida monofásico).

Se encuentran en ambientes de agua dulce y suelo, y menos frecuentemente en agua marina.

Diatomeas. Las diatomeas son esencialmente unicelulas, aunque también hay pseudofilamentos y agregados cenobiales. Las unicelulas están formadas por dos valvas sobrepuestas (característica de unidad) y con ornamentaciones con simetría radial o bilateral.

Presentan reproducción asexual por esporas y menos frecuentemente se reproducen por reproducción sexual simple (ciclo de vida monofásico). Sólo el espermatozoide es flagelado en algunas diatomeas de simetría radial.

Son uno de los componentes principales del plancton de agua dulce y marino y también se les puede encontrar en el suelo.

Feofitas. Incluyen formas filamentosas, laminares y las enormes algas marinas (kelps) con una diferenciación más compleja en su anatomía y morfología que cualquier otra alga. Se desconocen formas unicelulares en este grupo. Las algas pardas más complejas presentan porción de fijación, estípites y frondas. Si se hace un corte del estípites y se observa al microscopio, se pueden apreciar varias regiones. La amplia región cortical está constituida por células semejantes a las de un parénquima. La región central llamada médula está rellena laxamente por filamentos. Es probable que algunas células de la corteza interna, que se encuentran cerca de la médula, funcionen como elementos de tubos cribosos que traslocan el manitol mediante un mecanismo semejante al que se presenta en las plantas vasculares. Sin embargo carecen de tejidos del tipo del xilema.

Presentan reproducción asexual por esporas y reproducción sexual con alternancia de una generación esporofítica y una gametofítica. Todas las algas pardas liberan células móviles en alguna fase de su ciclo de vida, ya sea esporas y/o gametos.

Son de presencia casi exclusivamente marina, con aproximadamente 5 géneros de agua dulce.

Euglenofitas. Se encuentran en la mayoría de ambientes de agua dulce. También existen euglenofitas marinas y salobres.

CUADRO 3. PATRON ESTRUCTURAL BASICO DE LAS PRINCIPALES DIVISIONES DE ALGAS

Algas	Organización celular	Número, posición y ubicación de flagelos	Composición química de la pared	Pigmentos	Arreglo tilacoidal	Principales productos de almacenamiento	Comentarios taxonómicos
Cyanophyta (algas verde-azules)	procarionte	no presentan	murdinas, azúcares, etc. y vaina mucilaginosa	clorofila <i>a</i> , ficobilinas, carotenos y varias xantofilas	tilacoides sencillos sin asociar	almidón cianofítico y poliglucosa	Algunos autores las consideran como bacterias
Rhodophyta (algas rojas)	eucariote	no presentan	celulosa y/o xilanos y mananos y galactanos sulfatados	clorofilas <i>a</i> y en algunos <i>d</i> , ficobilinas, carotenos y xantofilas	tilacoides sencillos sin asociar	almidón florideano	
Chlorophyta (algas verdes)	eucariote	1, 2-8 muchos iguales localizados anteriormente en células vegetativas y/o gametos	celulosa, glucósidos de hidroxiprolina, xilanos y mananos	clorofilas <i>a</i> y <i>b</i> , xantofilas y carotenos	grana de 2-5 tilacoides	almidón	
Chromophyta* Chrysophyceae (algas doradas)	eucariote	1 ó 2 iguales o desiguales localizados anteriormente en esporas y en algunas células vegetativas	cuando hay pared, es de celulosa ya veces contiene sílice y/o carbonato de calcio	carotenos, clorofilas <i>a</i> y <i>c</i> y xantofilas	grana de 3 tilacoides	crisolaminarina	Existen muchas opiniones respecto a la clasificación de estas algas. algunos autores consideran a cada clase como una División; otros separan en Phaeophyta y las otras 3, etc.
Chromophyta* Xanthophyceae (algas verde-amarillentas)	eucariote	2 ó múltiplo, desiguales localizados anteriormente en células vegetativas	celulosa y pectina	carotenos, clorofilas <i>a</i> y <i>c</i> y xantofilas	grana de 3 tilacoides	crisolaminarina	
Chromophyta* Bacillariophyta (diatomeas)	eucariote	1 localizado anteriormente	sílice y pectina	carotenos, clorofilas <i>a</i> y <i>c</i> y xantofilas	grana de 3 tilacoides	crisolaminarina	
Chromophyta* Phaeophyceae (algas pardas)	eucariote	2 desiguales localizados lateralmente o subapicalmente en gametos y/o esporas	celulosa, ácido alginico y fucoídano	clorofilas <i>a</i> y <i>c</i> , carotenos y xantofilas	grana de 2-6 tilacoides	laminarina y manitol	
Euglenophyta	eucariote	2 desiguales colocados en una invaginación anterior de la célula	no presentan pared sino 1 membrana flexible llamada periplasto, localizada por debajo de la membrana citoplásmica	clorofilas <i>a</i> y <i>b</i>	grana de hasta 3 tilacoides	paramilón	Algunos autores las consideran dentro del reino Animalia
Pyrrophyta (dinoflagelados)	eucariote	2 desiguales 1 transversal y 1 longitudinal en células vegetativas	cuando presentan es de celulosa; producen además sustancias mucilaginosas	clorofilas <i>a</i> y <i>c</i> ; caroteno, xantofilas	grana de 3 tilacoides	almidón	Algunos autores separan a esta División en 2 Divisiones, Dinophyta y Cryptophyta

* Para este grupo se ha descrito el patrón estructural básico a nivel de División (Chromophyta) y clases (Chrysophyceae, Xanthophyceae, Bacillariophyceae y Phaeophyceae) porque a diferencia de las otras Divisiones, hay diferencias en cuanto a flagelos y composición química de la pared y pequeñas variaciones en el arreglo tilacoidal y los productos de almacenamiento.

Pirrofitas. En general las pirrofitas son unicelulares pero también hay formas no móviles filamentosas, cócoides, ameboides y cenobiales.

La forma más común de reproducción es la división celular. También se ha observado reproducción sexual simple en varias especies (ciclo de vida monofásico).

Una de las particularidades como grupo es la diversidad de formas de nutrición que presenta: fotosintética, parásita, saprófita y absorción de alimento en vesículas (nutrición holozoica). Son un componente importante de cuerpos de agua marinos, de agua dulce y salobre.

DONDE Y COMO VIVEN LAS ALGAS

Las algas se encuentran en todas partes del mundo; están distribuidas de uno a otro polo. Las causas que explican este hecho son, principalmente, su antigüedad —pues tenemos registros fósiles desde el periodo Precámbrico—, sus mecanismos de dispersión y otras adaptaciones. Las algas pueden formar estructuras que resisten altas y/o bajas temperaturas, desecación, y pueden pasar por un periodo de latencia de varios años. Así pueden dispersarse por aire (se han encontrado hasta 3 000 células por m³ de aire) y esto facilita mucho su transporte a través de grandes extensiones. También pueden dispersarse adheridas al pelaje de algunos animales o a las patas de insectos; adheridas a los cascos de los barcos o ser transportadas por los seres humanos; por las corrientes oceánicas pueden transportarse algunos fragmentos vegetativos que se encuentran a la deriva; o bien por flujo directo de un cuerpo de agua a otro. Otra de las causas de su amplia distribución son sus adaptaciones morfológicas. Algunas algas viven flotando en el agua gracias a su pequeño tamaño; a su forma, generalmente plana, que les permite mantener una posición horizontal y evitar el hundimiento, y/o a la presencia de estructuras que les permiten mantener una posición constante en el agua. Estas estructuras son los flagelos que les permiten nadar, y proyecciones de las células tales como espinas que aumentan la superficie y que

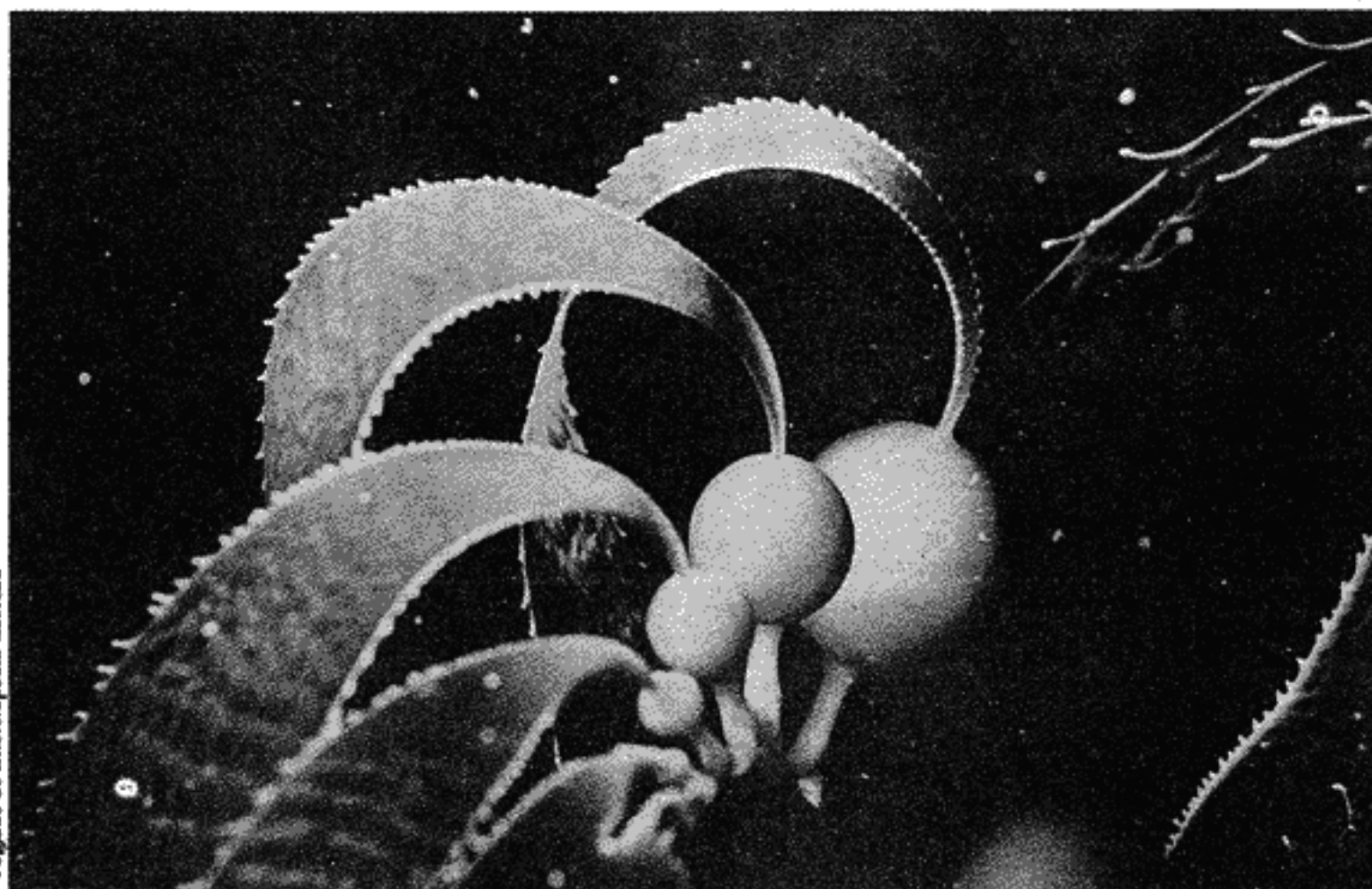
ayudan a mantener a flote el organismo. Otras algas producen una abundante sustancia mucilaginosa que también aumenta su superficie y las mantiene a flote. Algunas algas unicelulares que miden unas cuantas micras pueden mantenerse a flote fácilmente debido a su pequeño tamaño, pero flotan mejor cuando se unen varias células pues pueden formar diminutas laminillas que ofrecen mayor resistencia al hundimiento. Algunas algas filamentosas crecen fijas a un sustrato y pueden alcanzar un tamaño de varios metros, pero cuando se fragmentan unas cuantas células de tales filamentos, se convierten en organismos tan pequeños que pueden flotar perfectamente. Algunas de las algas de mayor tamaño de varios metros de largo presentan vejigas de flotación. Finalmente, muchas algas son demasiado grandes y pesadas para flotar, pero tienen estructuras reproductoras muy pequeñas que pueden nadar y/o flotar y tienen por tanto la capacidad de dispersarse ampliamente. En general, las algas tienen la capacidad de colonizar todos los medios ambientes. Viven en el agua dulce, en el mar o en agua salobre, y habitan desde los lagos tropicales hasta las nieves polares y alpinas. Estas algas son pues, acuáticas, pero también hay algas subaéreas, es decir, que viven expuestas a la atmósfera en una interfase aire-sustrato húmedo (tal como la corteza de un árbol o el lodo), y hay algas en el suelo, aun en suelos de zonas áridas en los que aprovechan el rocío nocturno.

Con respecto a las algas acuáticas, algunas viven flotando, otras viven en el fondo de los cuerpos de agua o adheridas a algún tipo de sustrato; algunas se adhieren a las rocas; otras viven fijadas al fango; en la arena; dentro o sobre plantas y animales; otras viven entre la vegetación de plantas superiores, generalmente en la orilla de los cuerpos de agua; hay algas subaéreas que crecen sobre cortezas de árboles y algas de suelo que pueden crecer sobre éste o dentro del suelo y rocas.

En el caso de las algas marinas, se emplean además otras clasificaciones, por ejemplo respecto a su posición, al nivel de marea pueden ser supra, meso e inframareales.

Hay algunas otras algas que viven en hábitats especiales, por

Muchas algas demasiado grandes y pesadas para flotar poseen vesículas esféricas llenas de gas que funcionan como flotadores, y así permanecen cercanas a la superficie del agua.



Tomado de Enciclopedia Costeana



En las poblaciones costeras es común utilizar algas marinas como fertilizantes y acondicionadores del suelo, lo que puede conducir a un mejoramiento de los productos agrícolas.

ejemplo aguas termales, y están adaptadas a temperaturas que varían entre 35°C (algunas algas verdes) y 75°C (algunas algas verdeazules). Otras algas crecen en y sobre hielo o nieve, a temperaturas alrededor de 0°C, y también en agua cerca de esa temperatura.

EL ESTUDIO DE LAS ALGAS EN MEXICO

Los estudios de algas de México datan, aunque de manera dispersa y circunstancial, desde finales del siglo pasado, básicamente con la participación de investigadores y colectores extranjeros. Estos antecedentes se inician a partir de 1846, año en que F. M. Liebmann visitó y colectó en costas mexicanas material que sirvió de base para el trabajo de J. A. Agardh en 1847 sobre algas de México. Desde esa época a la fecha no han sido muchos los trabajos, personajes o instituciones que destaquen en este campo. En este siglo son dignos de mencionar los estudios realizados en la década de los 20's por Setchell sobre algas marinas y el ligero auge de investigadores mexicanos en la década de los 30's, donde resaltan los trabajos de la Dra. Sámano-Bishop y el Dr. Sokoloff sobre algas de aguas continentales.

En las décadas de los 40's y 50's sobresalen por un lado los trabajos de Dawson de las costas del Pacífico, y por otro los estudios de fitoplancton del Dr. Osorio Tafall.

Desde el inicio de los 60's se empieza a hacer el listado florístico sistemático de las algas marinas gracias al esfuerzo y tenacidad de la Q. B. P. Laura Huerta y otros ficólogos formados a la sombra de su empeño.

A partir de los 70's se desarrolla un amplio programa de investigación sobre el inventario de los recursos ficológicos del país en el laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, bajo la responsabilidad del M. en C. Jorge González, cuya estrategia se explicará más adelante.

Actualmente hay numerosos grupos de ficólogos distribuidos en diferentes instituciones, principalmente en universidades, preocupados por avanzar en el crecimiento de la biología, taxonomía y ecología de las algas y su posible aplicación y aprovechamiento.

Además de la Facultad de Ciencias de la UNAM, que es el más importante centro de formación de ficólogos en México, están las siguientes instituciones que además cuentan con herbarios o colecciones ficológicas: Escuela de Ciencias Biológicas del IPN, UAM-Iztapalapa, Universidad de Nuevo León, Universidad de Baja California, Instituto de Biología de la UNAM, principalmente.

CONCEPCIONES Y CONCEPTOS PARA LA INTEGRACION DE UN PROYECTO DE FLORA FICOLOGICA

Un análisis de las áreas de desenvolvimiento profesional de los ficólogos actuales muestra que hay un gran desinterés por el trabajo florístico. Esto se considera un trabajo no de tipo científico sino naturalista, con pocas posibilidades de obtención de financiamiento, de poca sofisticación tecnológica y sobre todo se considera que consiste solamente en enlistar las especies de una localidad en un tiempo.

Suponer que por haber estudiado la flora de una región en un tiempo determinado, por largo que éste sea, se conoce dicha flora, es una suposición errónea que parte de una concepción equivocada de lo que es una flora ficológica, y la cual a su vez deriva de un planteamiento metodológico también equivocado.

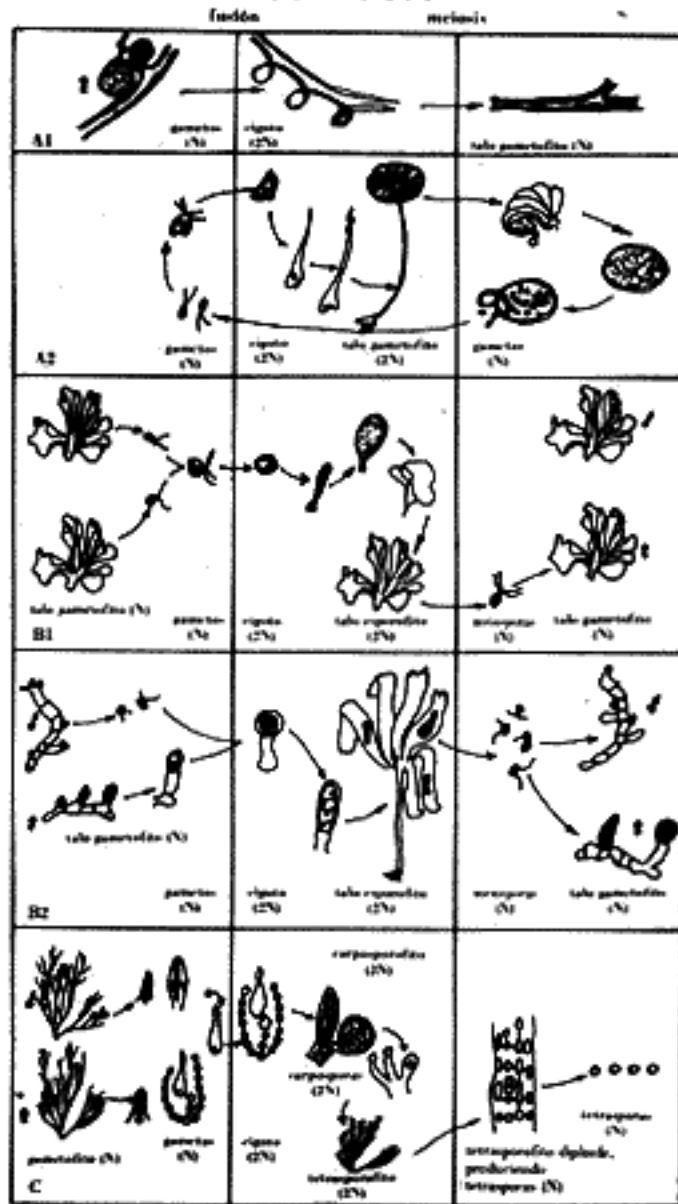
Los estudios florísticos no pueden darse por acabados. La flora es un proceso alterado por infinidad de factores, bióticos y abióticos, que si bien se presentan a los ojos del observador estudioso como un evento ubicado espacio-temporalmente, a partir del cual se pueden hacer descripciones y análisis objetivos de los hechos y fenómenos que se observan, o interpretaciones de causas y efectos y otras relaciones entre dichos hechos y fenómenos, lo cierto es que todo evento de diversidad, toda flora, es producto de una historia, tiene un devenir en el cual inciden múltiples elementos de alteración; el observador estudioso es, sin duda, uno de ellos.

La composición florística de los cuerpos de agua, suelo y costas de una región varía notablemente de tiempo en tiempo y de lugar en lugar, y no sólo estacionalmente sino en unidades mayores y menores a las de la estacionalidad anual.

En una región la manifestación de flora no es homogénea ni continua; las especies de algas se manifiestan espacio-temporalmente de manera diferencial según la continuidad o discontinuidad de los valores y combinaciones de los factores mesológicos, es decir, según la homogeneidad o heterogeneidad ambiental de la región. Toda heterogeneidad o discontinuidad florística de una región, explica y es explicada por la heterogeneidad ambiental de dicha región. Es decir, demuestra tanto el cambio de combinaciones de gradientes mesológicos de lugar en lugar y/o de tiempo en tiempo, cuanto la capacidad diferencial de las especies para responder a dichos cambios de valores y combinaciones.

Las especies de algas, aparte de algunas características generales más o menos comunes a todas ellas (gran cosmopolitismo, antigüedad, ciclos de vida cortos, niveles de organización que se

CUADRO 4. CICLOS DE VIDA DE ALGAS CON REPRODUCCION SEXUAL



A. Monofásico, B. Bifásico, C. Trifásico

Dependiendo del número de fases y la dominancia de una con respecto a otra

A1. Si la fase dominante es haploide, la meiosis es cigótica. Este ciclo de vida es el que tienen la mayoría de las algas con reproducción sexual. *Vaucheria sessilis* (DC.) Christensen. A2. Si la fase dominante es diploide, entonces la meiosis se presenta en el gametangio y se llama "meiosis gamética", *Acetabularia parvula* Solms-Laubach. B. Ciclo bifásico con dos fases más o menos dominantes, una haploide y otra diploide; estas fases pueden ser de la misma o de diferente forma y usualmente alternan una con otra. En este caso la división reduccional se presenta en el esporangio y se le llama "meiosis esporica". Este tipo de ciclo de vida se conoce también como "alternancia de generaciones", y se presentan en algas clorofitas, rodofitas y feofitas. B1. Ciclo isomórfico de *Ulva lactuca* L. B2. Ciclo heteromórfico de *Laminaria digitata* (L.) Lamaroux. C. El tipo trifásico consiste en un tipo bifásico cuyas fases pueden ser de la misma o de diferente forma, pero surge del gametofito femenino una tercera fase también diploide y productora de esporas; esta fase se llama carposporofito y las esporas carposporas. Estas dan origen al tetrasporofito diploide que por meiosis produce tetrasporas haploides, las cuales finalmente dan origen a un nuevo gametofito haploide. *Polysiphonia subtilissima* Montagne. Los dibujos están tomados de la *Iconoteca* del Laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias, UNAM.

repite en diferentes divisiones, etc), tienen diferentes rangos de tolerancia a la variación de las condiciones ambientales, por ende una gran plasticidad adaptativa diferencial a la combinación de gradientes de factores mesológicos.

Las algas, como todo ser vivo, no se equivocan. Si las encontramos manifiestas en un ambiente, es porque las condiciones biológicas y los factores mesológicos posibilitan dicha manifestación en ese lugar y en ese momento como parte de ese evento.

ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Han habido varios procedimientos para la elaboración de floras nacionales, pero podríamos aglutinarlos en dos tendencias: la primera pretende ir acumulando listas parciales a lo largo de muchos años; y la segunda plantea proyectos globales que

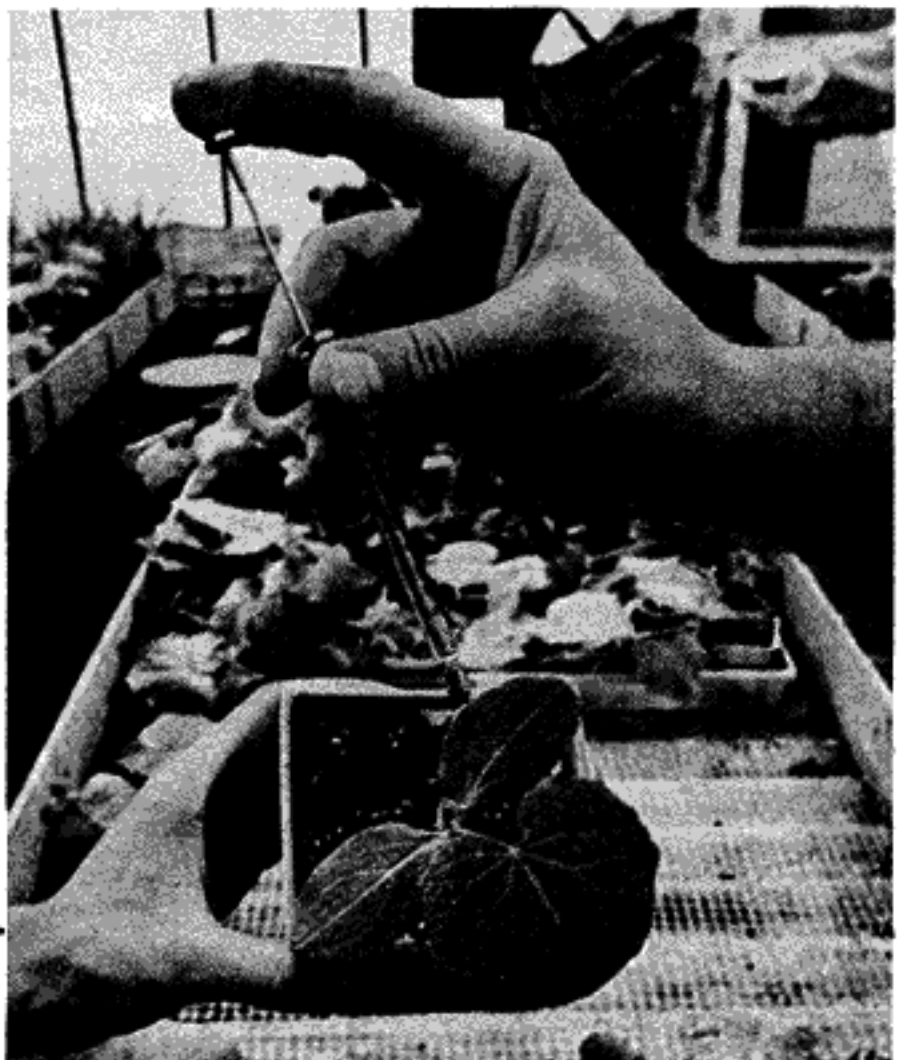
trabajan el inventario intensivamente y en un plazo relativamente definido y corto. En ninguno de los dos casos se ha tomado en cuenta, como hemos dicho, que la flora es un proceso alterado que requiere no sólo describirse, sino también explicarse.

Se deben buscar estrategias que permitan construir modelos descriptivos, explicativos, predictivos de los diferentes eventos florísticos y su dinámica a la luz de los adelantos tecnológicos y conocimientos de la ficología moderna.

Para ello se elaboró* un programa a largo plazo, "Flora Ficológica de México", en el que se trabaja complementariamente con 3 puntos de partida o criterios de integración: flora tónica, típica y tónica; y tres niveles de análisis y síntesis de trabajo: prospectivos, intensivos y extensivos.

* En el Laboratorio de Ficología, Facultad de Ciencias, UNAM.

En la investigación farmacológica se han utilizado varios tipos de algas en la búsqueda de agentes bacterianos y anticancerígenos.



Primer punto de partida y/o integración flora tónica. Por flora tónica entendemos la lista florística total de un momento dado en una región geográfica amplia. Forman parte de dicha lista todas las especies que alguna vez se hayan reportado para ella (a menos que haya errores de identificación) y todas las especies que se vayan reportando subsecuentemente, independientemente del lugar y época o momento de la colecta. Es decir, la flora tónica es atemporal y aespacial. Es fundamental en la elaboración de la flora tónica tanto la recopilación histórica bibliográfica como los estudios florísticos prospectivos que posibiliten tener una imagen del panorama florístico de la región lo más completa posible. Los estudios prospectivos permiten tener el máximo número de colectas del mayor número de lugares el mayor número de veces posible, lo cual a su vez permite hacer una primera evaluación de las necesidades y posibilidades de plantear nuevos estudios de tipo intensivo y extensivo de la región.

Entendemos por estudio intensivo aquél que aborda con detalle la problemática particular de un área, grupo taxonómico o ambiente algal restringido; y por estudio extensivo el estudio de ampliación de esa problemática a áreas, grupos o ambientes extendidos en tiempo y espacio. Así por ejemplo el estudio de la flora de las cascadas de una localidad es un estudio intensivo que puede hacerse extensivo, ya sea a las cascadas de muchas localidades o a todos los ambientes de la localidad inicial.

Dadas las características de atemporalidad y aespacialidad de la flora tónica, no se puede indicar cuándo ni dónde se puede encontrar determinada especie, aun cuando ya haya sido reportada para la región, pero sí indica la posibilidad (nunca la seguridad) de que se encuentre en alguna parte de ella, en cierta época. Es decir, todo reporte supone la presencia, algunas veces manifiesta, siempre potencial, de la especie en la región. En otras palabras, la flora tónica es la flora potencial de una región.

Segundo punto de partida y/o integración flora típica. Consideramos que una parte importante en el diseño de una estrategia florística es el tomar en cuenta las características del objeto de estudio. No es lo mismo estudiar las plantas superiores, un grupo natural, que a las algas que se han reunido por sus relaciones filofenéticas no filogenéticas. Las algas tienen gran cantidad de convergencias entre sí y con otros grupos, como por ejemplo con algunas bacterias, hongos, protozoarios e invertebrados, particularmente en cuanto a niveles de organización.

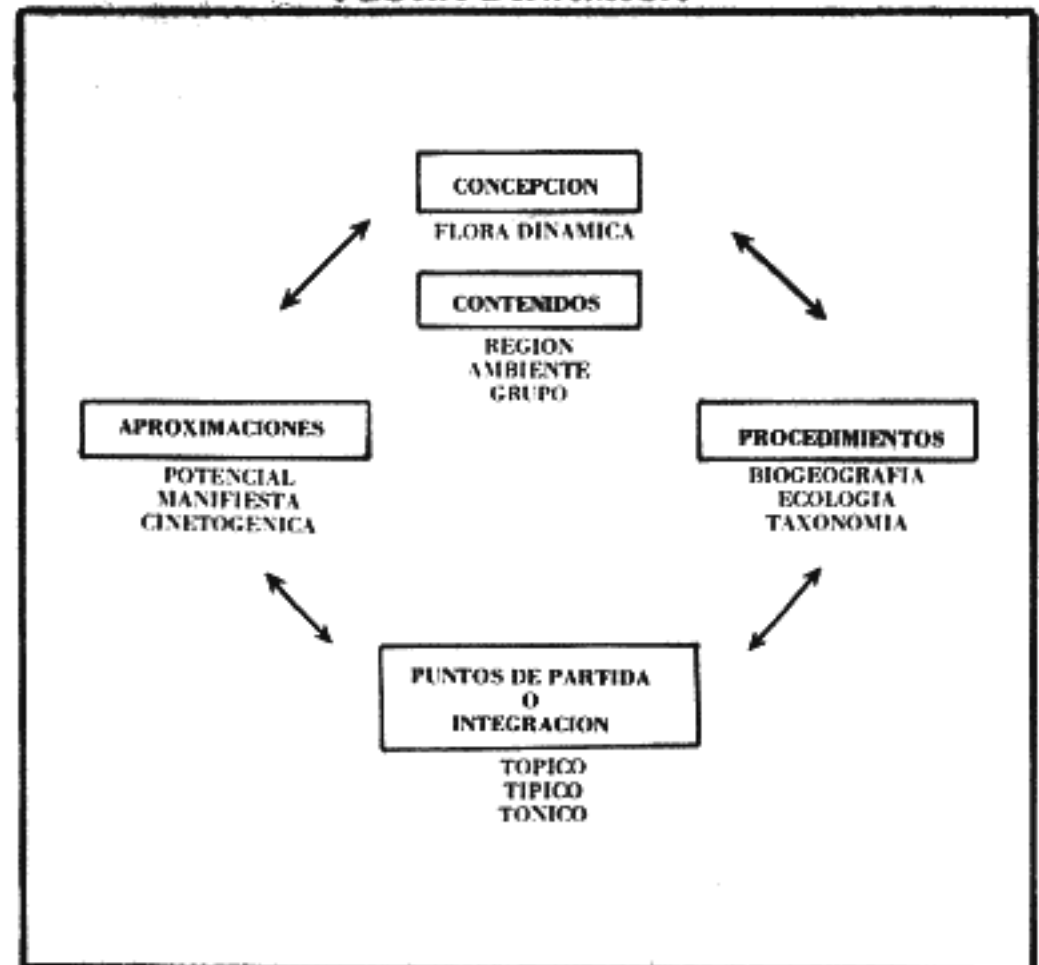
El medio ambiente de un alga es una parte tan inherente a ella como lo son su forma, tamaño, etc. Esto explica cuando menos en parte su alternada y variada presencia o ausencia, es decir su manifestación o potencialidad en una región.

La elaboración de la flora típica consiste en estudiar a las algas dentro de las comunidades que forman naturalmente. Es decir, estudiar con qué otras especies forman asociaciones, en qué proporciones, en qué condiciones mesológicas, etc., para caracterizar y delimitar los diferentes ambientes algales.

La flora típica es espacial y temporal y por tanto la información que da es complementaria a la que da la flora tónica: dice en dónde, cuándo y cómo se encuentran manifiestas las especies que potencialmente están en la región. En otras palabras, la flora típica es la flora manifiesta en un ambiente de una región; y posibilita predecir, con base en el establecimiento y construcción de patrones, la presencia y proporción de especies y asociaciones en relación con la coincidencia de ciertos valores o gradientes de factores mesológicos.

Tercer punto de partida y/o integración flora tónica. A través

CUADRO 5. INTEGRACION DEL TRABAJO FICOLOGICO BAJO LA CONCEPCION DE FLORA DINAMICA



de la flora tónica y la flora típica se tiene la información acerca de qué especies pueden manifestarse y los ambientes en que de hecho se manifiestan, pero no la explicación de porqué. La flora tónica es el estudio de la biología, autoecología y de los problemas taxonómicos de cada una de las especies integrantes de una flora mediante los cuales se explica la presencia-ausencia permanencia, constancia y proporción, en cada uno de sus medios ambientes; en ella se describe el patrón estructural básico y sus rangos de variación en relación con los gradientes de los factores mesológicos y se evalúa la coherencia de la sistemática de cada uno.

Así pues, los estudios de las variaciones genéticas y fenéticas de los taxones permite no sólo resolver problemas de definición taxonómica, sino también conocer sus potencialidades adaptativas y explicar parte de los problemas que plantea su propia biología; pero sobre todo permite interpretar y predecir las características medioambientales de su presencia y proporción en los lugares que, teniendo ciertas condiciones ambientales, posibilitan su manifestación. En otras palabras, explica el movimiento de floras (flora cinetogénica).

En resumen, a través de los estudios prospectivos-intensivos-extensivos se posibilita abordar racionalmente floras tan extensas y complejas como se quiera, pues siempre se parte de un panorama de las características más generales y una evaluación de los tipos de problemas y las posibilidades de abordarlos en orden de importancia, de acuerdo a diferentes criterios; se selecciona un problema de cada tipo para trabajar a profundidad (trabajo de particularización o análisis); y se generaliza a todos los demás problemas de su tipo (trabajo de síntesis). (Ver cuadro 5.)

A través de los estudios de flora tónica-típica-tónica, al hacer simultáneamente *biogeografía, ecología y taxonomía* se obtiene un acercamiento a una representación dinámica de un objeto que por su naturaleza así es, dinámico. ⊕