



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES**

---

**IZTACALA - U.N.A.M.**

**ANALISIS DE ALGUNOS MINERALES DEL ALGA AZUL-VERDE**

**Phormidium tenue (Cocol)**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de**

**B I O L O G O**

**p r e s e n t a**

**JOSE LUIS GODINEZ ORTEGA**

**SAN JUAN IZTACALA, MEXICO**

**1 9 8 3**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

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

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

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

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer sinceramente a la Dra. Martha M. Ortega y Dra. Guadalupe de La Lanza E. por su magnífica disposición, colaboración y por sus valiosas orientaciones.

A la Quím. Irma Aguilera por las facilidades prestadas en el Laboratorio de Absorción Atómica del Instituto de Geología.

Al Dr. José Luis Molinari, Dr. Alfonso Cárabez, Dr. Jaime Mas, M. en C. Luis Pinzón P., Ing. Claudio Santillán y P. de Biól. Gloria Garduño por las innumerables atenciones que me brindaron.

Al Dr. Héctor Bourges, Ing. Ernesto Mendoza, Biól. Ma. Guadalupe Oliva M., Biól. Ernesto Aguirre, Biól. Jaime Angeles A. e I. Q. José Pantoja M. por la crítica y sugerencias al presente trabajo.

Un agradecimiento especial a mis padres, hermanos y tíos por su cariño y apoyo durante mi formación.

## I N D I C E

	Pág.
Resumen. . . . .	1
Introducción.. . . .	3
Antecedentes . . . . .	7
Material y Métodos . . . . .	23
Resultados y Discusión . . . . .	26
Conclusiones. . . . .	51
Bibliografía . . . . .	53

## R E S U M E N

La presente contribución está enfocada a la cuantificación de algunos minerales de importancia nutricional, contenidos en el alga comestible Phormidium tenue (Men.) Gom. (cocol), con el propósito de obtener información sobre las concentraciones de minerales de esta alga en condiciones silvestres, (recogida del Lago de Texcoco en agosto y septiembre, 1982) y bajo condiciones de cultivo en el laboratorio (durante 15 y 30 semanas) por el método flamométrico y espectrofotométrico de absorción atómica. El promedio de ambas algas en g/100 g y mg/Kg, ps, es la siguiente:

Algas	Ca (g)	Mg (g)	Na (g)	K (g)	Fe (g)	Zn (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)	Co (mg)
<u>P. tenue</u> silvestre	1.80	0.79	5.57	0.45	0.52	426.8	50.2	122.9	17.1
<u>P. tenue</u> cultivado	3.74	0.84	4.81	0.72	0.12	372.1	21.2	412.1	10.2

En general no se observaron diferencias marcadas en cuanto a la variación en tiempo, con excepción de la cultivada, que disminuyó en los cultivos viejos (30 semanas). La concentración cuantitativa entre P. tenue silvestre y cultivado, mostró una distinta concentración de minerales, sin embargo ambas fuentes, pueden servir como fuente de minerales.

P. tenue silvestre y cultivado comparado con otras algas, fanerógamas acuáticas y alimentos comunes, presentaron elevadas concentraciones de calcio, hierro, sodio y manganeso; relativamente elevadas magnesio, zinc, cobre y cobalto, y bajas en potasio,

sin llegar a cantidades mínimas.

El calcio y el hierro de ambas algas, pueden servir como fuente potencial en problemas de deficiencia.

El calcio de P. tenue silvestre y cultivado (1.80 y 3.74 g/100g) es 16 veces mayor que las algas Spirulina y Palmaria y de 1 a 257 más que las fuentes principales de este elemento (leche, quesos, espinacas y leguminosas). El hierro (0.52 y 0.12 g/100g) es 10 veces mayor que en las algas antes mencionadas, 12 veces más que en las fanerógamas (Lemna, Hydrilla y Pistia) y de 36 a 1,620 veces más que en los alimentos comunes (cereales, leguminosas, vegetales, frutas, oleaginosas, carnes, pescados y mariscos, derivados y otros).

Con base en que P. tenue fue consumido por una cultura antigua (mexicas) y contiene nutrimentos minerales en cantidades significativas y por último por no presentar "toxicidad natural" (esto último dependiendo de la cantidad que se consuma), puede ser considerado como alimento.

Dadas las necesidades de contar con recursos adecuados y una tecnología propia, P. tenue puede ser utilizado potencialmente en un futuro próximo, como fuente de minerales para la nutrición humana y/o animal.

## INTRODUCCION

Hasta el presente y acorde a la información a nuestro alcance, las únicas algas continentales utilizadas como alimento son algunas especies de algas azul-verdes y clorofíceas unicelulares; y, si bien no han sido muy estudiadas, son importantes por varias razones: su consumo por el hombre figura en viejas obras de botánica y representan actualmente un alimento común en diversas poblaciones de Sud-América, China, Japón, Africa y otras localidades, y además su composición química las hace dignas de estudio.

Entre las que se destacan por su utilización en tiempos remotos están las cianofíceas de los géneros: Nostoc, Nematonostoc (Nostoc comune f. flagelliforme), Spirulina, Phormidium, Chroococcus, y Aphanotece y las empleadas más recientemente en cultivos artificiales, son las clorofíceas unicelulares Chlorella y Scenedesmus principalmente (Halperin, 1971).

El interés de las algas utilizadas como alimento en la dieta humana y animal, hace necesario realizar estudios para su evaluación. En primera instancia utilizando el método químico y posteriormente aplicando el biológico, todo ésto como bases para finalizar en la explotación del recurso.

Las algas continentales más estudiadas como alimento en casi todo el mundo son Chlorella y Spirulina. Las investigaciones sobre la composición química de las algas comestibles continentales, ha sido regularmente explorada.

La calidad bromatológica de Spirulina fue publicada por Santillán (1982), la de Nostoc por Aldave Pajares (1969) y Chapman (1970), la de Phormidium tenue por Salcedo Olavarrieta et al., (1978a; 1978b), la de Aphanotece stagnina por Halperin et al., (1974) y la de Chlorella por Spoehr y Milner (1949). Dentro de los análisis químicos se destaca el contenido de proteínas y aminoácidos, no siendo así, los de las sustancias inorgánicas, en especial los de los minerales que han sido escasamente estudiados a nivel nutricional.

De las investigaciones sobre los minerales en relación con la nutrición animal, están la absorción y excreción de sodio y potasio publicados por primera vez por Salkowski en 1871 (Linkswiler, 1978); por otro lado hace más de 400 años que se encontró que el zinc era un elemento esencial en la alimentación de ratas y ratones (Todd, 1934; Sandstead, 1978). También la importancia del cobre fue reconocida en la década de los años 20, cuando se descubrió que éste y el hierro eran necesarios para la prevención de anemia en animales alimentados con leche de vaca, como única fuente de nutrimentos (Hart et al., 1928; O'Dell, 1978). La primera evidencia que se obtuvo del cobalto como elemento esencial fue hace 50 años en investigaciones realizadas en Australia, sobre enfermedades que ocurrían en el ganado bovino y ovino ("enfermedad de la costa y debilitante"), a consecuencia de una deficiencia de este elemento (Underwood, 1978). El manganeso como mineral importante para animales de experimentación fue descubierto en 1931 (Hurley, 1978).

Aunque existen antecedentes en décadas pasadas de estudios mineralógicos como elementos esenciales en la nutrición animal, no fue sino hasta los años 70 que estas investigaciones fueron intensificadas y aceleradas. Esto se debió en parte, a que durante los años 60 nuevos métodos de cuantificación fueron desarrollados gradualmente, como el espectrofotométrico de absorción atómica (iniciado en Australia) y el flamométrico.

Los resultados de las investigaciones en las últimas décadas sobre minerales en la nutrición, están resumidos por Mertz (1980) en: a) El concepto de los nuevos oligoelementos (Zn, Cu, Mn, Co, Va, Se, Si, etc.) como sustancias biológicamente activas; b) las interacciones entre minerales y su importancia en el metabolismo de la nutrición y c) definición de los requerimientos de minerales para uso humano.

Un adelanto importante fue la recopilación de contenidos de minerales en los alimentos (compendio), sin embargo todavía existen dificultades en la unificación de términos, límites de confianza, y la validez universal. Se tienen dos excelentes trabajos de recopilación de contenidos en cobre (Pennington y Calloway, 1973) y zinc (Murphy et al., 1975) en alimentos comunes.

En cuanto al estudio de minerales en algas continentales comestibles el panorama es desolador, sólo se tiene el contenido de minerales de Spirulina geitleri del Lago de Texcoco (Santillán, 1982), el de Chlorella pyrenoidosa Scott, 1943) y la hipótesis de un alto contenido de minerales en Phormidium tenue (cocol), por su alta concentración de cenizas (42.21%) en comparación con otros alimentos (de 1 a 154 veces mayor que otras algas, cereales,

leguminosas, verduras, oleaginosas, carnes, pescados, mariscos, alimentos primitivos, derivados y otros). P. tenue fue utilizado por los pobladores del Anáhuac (México) como un complemento alimentario y era colectado en el Lago de Texcoco (Ortega, 1972a).

Dados los antecedentes citados y las necesidades de fuentes alimenticias adicionales para el país, como aportes adecuados para la dieta humana o animal, es inminente contar con investigaciones fundamentales y una tecnología a nivel de semicultivo o cultivos algales que proporcionen los fines de alimentación.

El objetivo de la presente contribución es dar a conocer el contenido de minerales (Ca, Na, Mg, K, Fe, Cu, Zn, Mn y Co) en Phormidium tenue obtenido del Lago de Texcoco y en la misma especie cultivada a nivel de laboratorio, con el propósito de ofrecer un apoyo en la explotación futura de este recurso.

## ANTECEDENTES

## REFERENCIAS HISTORICAS

Nostoc (Cyanophyta)

Según Harvey (1858), N. comune es una especie comestible en las costas del Océano Artico (N. arcticum) y en el Tibet (Asia), y en Inglaterra se le conoce con el nombre de "estrellas fugaces" (fallen stars). Otra especie de este género (N. edule) crece en los ríos de Tartaria, la cual se exporta a China donde se vende en los mercados para ingrediente de sopas. Chapman (1970), menciona que el N. comune o "Ke-sien-mi" y "Nematonostoc flagelliforme" o "Pa-Tsai" (N. comune f. flagelliforme) son usadas como alimento en China.

Halperin (1967) manifiesta que el N. comune o "llullucha" es una alga que se vende en los mercados populares de Bolivia y se utiliza para preparar una sopa llamada "chupe". En la misma forma el N. comune es conocido en Perú con el nombre de "cushuro", el cual está asociado con N. sphaericum y N. pruniforme. Según Aldave-Pajares (1969), se utiliza en la región alto-andina peruana y además señala que el "cushuro" es un suplemento proteico para aquellas poblaciones de escasos recursos económicos.

En México el N. comune fue utilizada como alimento por los antiguos Mexicas en el Lago de Texcoco, con el nombre de "amomoxtle" que según Ortega (1972a; 1972b), este vocablo dio origen al de "amoxtle" o gelatina de agua. Su uso está actualmente extinguido.

Spirulina geitleri y S. platensis (Cyanophyta)

Recientemente, un nuevo tipo de algas alimentarias han sido reportadas en la República de Chad en Centro Africa (S. platensis) (I.F.P., 1967), las cuales se cosechan y se consumen desde hace mucho tiempo. El producto ya seco constituye el "die" que se utiliza como salsa cocinada que suele acompañar las albóndigas de mijo. A partir de su descubrimiento, pruebas y estudios fundamentales fueron llevados a cabo por el "Instituto Francés del Petróleo".

El conocimiento de Spirulina mexicana (S. geitleri), existente en el Lago de Texcoco, se llevó a cabo a partir de un accidente ocurrido en la Cía. de "Sosa Texcoco", S.A. productora de sosa cáustica, por el cual la calidad de la sosa se vio disminuida por la presencia de una materia verdosa compuesta de S. geitleri. Durante el VII Congreso Mundial del Petróleo de 1967, en una sección dedicada a las nuevas contribuciones del petróleo a la agricultura, se ofreció una conferencia sobre las proteínas unicelulares. Entonces "Sosa Texcoco, S.A." dispuso de numerosos elementos de información para interesarse en la Spirulina y en su desarrollo industrial. A partir de esa fecha y con algunos estudios previos (David, 1963), se iniciaron las investigaciones sobre Spirulina en México, con la colaboración del mencionado Instituto. También se interesaron en el estudio de Spirulina el Instituto Nacional de la Nutrición, el Instituto de Investigaciones Pecuarias, el Instituto Mexicano del Seguro Social, el Instituto Politécnico Nacional y la Universidad Nacional Autónoma de México, entre las más importantes.

Phormidium tenue (cocol) (Cyanophyta).

Componente principal del "cocol de agua" fue utilizada como complemento alimenticio en las épocas del florecimiento y esplendor de los pueblos del Anáhuac (Ortega, 1972a; 1972b).

Ortega (Op. cit.) en su trabajo etnoficológico de las algas comestibles del Valle de México, expone los antecedentes del "tecuítlatl", donde señala: "como resultado de sus recorridos y trabajos en México, Francisco Hernández (1513-1587) describe al "tecuítlatl" en la Historia Natural de Nueva España y en Rerum Medicarum, al hacer el estudio de la Historia de los Minerales diciendo: "Brota el tecuítlatl, que es muy parecido al limo, en algunos sitios del vaso del lago mexicano, y gana el punto la superficie de las aguas de donde se saca y barre con redes o se apila con palas. Una vez extraído y secado un poco al sol, le dan los indios forma de pequeñas tortas; se pone otra vez al sol y sobre yerbas frescas hasta que se seca perfectamente, y se guarda luego como queso por solo un año. Se come cuando es necesario con maíz tostado o con las comunes tortillas de los indios. Cada venero de este limo tiene su dueño particular, a quien rinde a veces una ganancia de mil escudos de oro anuales. Tiene sabor de queso y así lo llaman los españoles, pero menos agradable y con cierto olor a cieno; cuando reciente es azul o verde; ya viejo es color de limo, verde tirando a negro, comestible solo, en muy pequeña cantidad y esto en vez de sal o condimento del maíz". Como el nombre "tecuítlatl" desapareció con el tiempo, Ortega (Op. cit.) señala que probablemente este nombre se sustituyó por el del "cocol de agua" el cual está

formado de P. tenue (dominante) y Chroococcus turgidus (subdominante) además de estar asociado con otras algas, nemátodos y rotíferos.

P. tenue es una alga anual que está presente en los meses de agosto a noviembre, en el Lago de Texcoco. Por otro lado es una especie que tiende a desaparecer por la contaminación del agua y la desecación de los lagos. Entrevistas recientes hechas a algunos moradores del área, señalan que el "cocol" ya no crece desde muchos años atrás y solo se presenta en zonas restringidas, y por períodos cortos. Actualmente su uso está casi extinguido.

#### Aphanotece stagnina (Cyanophyta)

En Japón y desde tiempos remotos se consume una especie continental llamada "suizenji-nori" o "kotabuki-nori", originaria de los arroyos de Kumamoto, en apariencia semejante a Nostoc, pero denominada inicialmente Phyllocladon sacrum y posteriormente identificada como A. stagnina (Halperin *et al.*, 1974). Se utiliza principalmente como ingrediente de sopas.

#### Chlorella (Chlorophyta).

Las algas verdes unicelulares se han estudiado desde el inicio de este siglo, en investigaciones en fisiología y bioquímica vegetal. Pero fue hasta la década de los 40s cuando los pioneros Hermon Spoehr y Harold Milner, propusieron por primera vez que las algas unicelulares podrían servir como recurso alimentario (Krauss, 1962); dicha propuesta despertó el interés de muchos científicos e ingenieros.

Debido al antecedente de que muchas algas se consumen,

en especial las marinas, principalmente en Japón, China, Escocia, Escandinavia y en Indias Occidentales, el problema de comercialización de las algas unicelulares no residió en su aceptabilidad sino en la producción masiva.

Algunos laboratorios de los Estados Unidos, Alemania, Inglaterra, Japón, Suecia, Israel y Rusia, desarrollaron la tecnología para producir su cultivo intensivo. Los más notables fueron la Institución Carnegie de Washington, así como el Instituto de Investigaciones de Stanford y la Cia. Arthur D. Little en Cambridge, (Mass.). Unicamente la tecnología japonesa y la Cia. A. D. Little, pueden ser considerados como planta piloto a gran escala (Krauss, op. cit.).

En la Tabla I se presentan los lugares donde se han encontrado las algas comestibles continentales, junto con sus nombres vernáculos.

#### EVALUACION DE LA CALIDAD NUTRITIVA DE LAS ALGAS (Método Químico)

Las algas comestibles continentales han sido objeto de algunos estudios a nivel nutricio. En la Tabla II se muestran la composición bromatológica a nivel general.

Según esta Tabla, S. geitleri es una fuente rica en proteínas, N. comune en carbohidratos y P. tenue en sustancias inorgánicas (minerales). Además, Chlorella desarrollada en cultivos artificiales, presenta un enriquecimiento de proteínas, grasas, vitaminas y minerales.

Otros estudios químicos realizados en las algas comestibles se resumen en la Tabla III.

Tabla I. Localidades donde se consumen las algas comestibles continentales y su nomenclatura vernácula.

Algas	México	Bolivia	Perú	Edos.Unidos.Inglaterra	China	Japón	Chad (Africa)	Océa- no Ar- tico	Asia Cen- tral	Tibet (Asia)	Tartaria (Asia)
<u>Nostoc comune</u>	Amoxtle (1)	Llullucha (2)	Cushuro a(3)		estrellas fugaces(4)	Ke-sien-mi Fa-Tsai(5)		(4)		(4)	
<u>Nostoc ellisporum</u>									(5)		
<u>Nostoc edule</u>											d(4)
<u>Spirulina geitleri</u>	espirulina										
<u>Spirulina platensis</u>							die (6)				
<u>Phormidium tenue</u>	cocol de agua(1)b										
<u>Aphanotece stagnina</u>						Sulzen-ji-nori (10)					
Cianoficea (?)	Tecuitlatl (1) (7)										
Chlorella	Algafil (8)			Chlorella (11)		Chlorella (11)					

- (1) Ortega (1972a; 1972b) (6) Institut Français du Petrole (1967)  
 (2) Halperin (1967) (7) Farrar (1966)  
 (3) Aldave Pajares (1969) (8) Mendoza de Flores y Pino (1964)  
 (4) Harvey (1858) (9) Santillán (1982)  
 (5) Chapman (1970) (10) Halperin et al., (1974)  
 (11) Krauss (1962)

a = junto con N. sphaericum y N. pruniforme  
 b = junto con Chroococcus turgidus  
 c = preparado comercial por Abbott de México  
 d = no se consume localmente, sino se exporta a China.

Tabla II. Composición bromatológica general de las algas comestibles continentales (ps).

Algas	Humedad %	Cenizas %	Proteínas %	Carbohidratos %	Grasa cruda %	Fibra cruda %	Referencias
<u>Spirulina geitleri</u>	7.90	9.00	70.00	16.50	7.00	2.10	Santillán (1982) Bourges <u>et al.</u> (1971)
<u>Nostoc comune</u>	10.60	7.50	20.90	55.70	1.20	4.10	Chapman (1970)
<u>Phormidium tenue</u>	0.07	42.21	10.85	23.34	1.43	6.10	Salcedo Olavarrieta <u>et al.</u> (1978a)
<u>Aphanotece stagnina</u>			36.00				Halperin <u>et al.</u> (1974)
<u>Chlorella (*)</u>			40-70	20.00	20-85		Spoehr y Milner (1949)

(\*) Depende de la concentración del medio.

Tabla III. Estudios realizados en las algas comestibles continentales.

Tipo de análisis	<u>Phormidium tenue</u>	<u>Spirulina</u>	<u>Chlorella</u>
Aminoácidos	Salcedo Olavarrieta <u>et al.</u> (1978b)	Santillán (1982)	Fowden (1951)
Lípidos (varios tipos)		Santillán (1982) Forin <u>et al.</u> (1975)	
Carbohidratos (varios tipos)		Santillán (1982)	Krauss (1962)
Ac. nucleicos		Jassey <u>et al.</u> (1971) Chimal y Cruz Pala- cios (1975); Cruz Palacios y Chimal (1975)	
Vitaminas		Santillán (1982)	Krauss (1962)
Minerales		Santillán (1982)	Scott (1943)

### Análisis de Minerales

En la Tabla IV se presentan los antecedentes del contenido de cenizas (minerales), en las algas empleadas en este estudio y se comparan con algas comestibles marinas y con los alimentos de uso común en México.

En relación a esta última Tabla, se observa que Phormidium tenue es el alimento con mayor contenido de cenizas (minerales), con respecto a las algas marinas y continentales comestibles, y a los alimentos de uso común en México. P. tenue (46.21%) presenta aproximadamente 7 veces mayor el contenido de cenizas que las especies de Nostoc y Spirulina. Las algas que más se asemejan son Palmaria palmata (dulce) (11.7-36.6%), Laminaria japonica (Kombu) (22.27%), L. digitata (31.84%) y en menor cantidad Porphyra tenera (Nori) (10.3%). En cuanto a los alimentos más comunes en México, es evidente que son pobres en cenizas. P. tenue es mayor de 27.1 a 57.7 veces que los cereales; 10.2 que las leguminosas; de 51.3 a 154 que las frutas; 10.7 que las oleaginosas, de 3.2 a 42 que los pescados y mariscos; 57.7 que los derivados; de 3.7 a 6.6 que los alimentos primitivos y 1.86 que otros. Los más cercanos al P. tenue son el charal seco (14.2%), la harina de espinaca (24.8%), el ahuate (6.9%) y el axayacatl (10.6%).

Como se puede observar, las algas son ricas en sustancias inorgánicas. Según Salcedo Olavarrieta et al., (1978a), P. tenue es alto en cenizas debido a la gran cantidad de impurezas que lo acompañan (otras algas, rotíferos, nemátodos, etc.), además de su alto contenido de sílice, arena y otros minerales. Aldave

Tabla IV. Contenido comparativo de cenizas de las algas comestibles y alimentos de uso común (ps).

Nombre vulgar	Nombre científico	Procedencia	Cenizas	Referencias
<u>Algas Continentales</u>				
Ke-sien-mi	<u>Nostoc comune</u> f. <u>flagelliforme</u>	China	7.50	Chapman (1970)
Cushuro	<u>Nostoc sphaericum</u> <u>N. pruniforme</u>	Perú	10.00	Aldave Pajares (1969)
Espirulina	<u>Spirulina geitleri</u>	México	9.00	Santillán (1982)
Die	<u>Spirulina platensis</u>	Chad	4.70	Bourges et al. (1971)
Cocol de agua	<u>Phormidium tenue</u>	México	46.21	Salcedo Olavarrieta et al., (1978a).
<u>Algas Marinas</u>				
Dulce	<u>Palmaria palmata</u>	Europa	11.7-36.6	Morgan et al., (1980)
Kombu	<u>Laminaria japonica</u>	Japón	22.27	Chapman (1970)
Nori	<u>Porphyra tenera</u> <u>Laminaria digitata</u>	Japón Escosia	10.30 31.84	Chapman (1970) Johnston (1966)
<u>Alimentos Comunes (*)</u>				
<u>Cereales:</u>				
Maíz amarillo	<u>Zea mays</u>	México	1.20	Cravioto et al. (1951)
Trigo	<u>Triticum sativum</u>	Gto.	1.70	Cravioto et al. (1951)
Arroz	<u>Oryza sativa</u>	Mor.	0.80	Cravioto et al. (1951)
<u>Leguminosas:</u>				
Frijol bayogordo	<u>Phaseolus vulgaris</u>	D.F. (mercado)	4.90	Cravioto et al. (1951)
Lentejas	<u>Euan lens</u>	D.F. (mercado)	4.50	Cravioto et al. (1951)
Soya	<u>Glycine soja</u>	Tab.	4.90	Cravioto et al. (1951)
<u>Verduras:</u>				
Espinacas	<u>Spinacea oleracea</u>	D.F.	1.60	Cravioto et al. (1951)
<u>Frutas:</u>				
Limón	<u>Citrus limonia</u>	Ver.	0.50	Cravioto et al. (1951)
Melón	<u>Cucumis melo</u>	Mor.	0.70	Cravioto et al. (1951)
Manzana		Pue.	0.30	Cravioto et al. (1951)
Plátano tabasco	<u>Musa sapietum</u>	Tab.	0.90	Cravioto et al. (1951)
<u>Oleaginosas:</u>				
Cacao	<u>Theobrama caeno</u>	Yuc.	4.30	Cravioto et al. (1951)
<u>Carnes:</u>				
Res (Aguayón)			1.00	Cravioto et al. (1951)

Continuación:

Nombre vulgar	Nombre científico	Procedencia	Cenizas	Referencias
<u>Pescados y Mariscos:</u>				
Charales secos	<u>Chirostoma jordani</u>	Mich.	14.20	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
Mero	<u>Stereolepis gigas</u>	B.C.	1.10	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
Camarones	<u>Penaeus sp.</u>	Cam.	1.20	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
Ostión	<u>Ostrea sp.</u>	Ver.	1.70	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
<u>Alimentos Primitivos:</u>				
Acociles	<u>Cambarus montezumi</u>	D.F.	12.40	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
Ahuautle	(1)	D.F.	6.90	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
Axayactl	(2)	D.F.	10.60	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
<u>Derivados:</u>				
Leche de vaca			0.80	Cravioto <u>et al.</u> (1951)
<u>Otros:</u>				
Harina de espinaca			24.80	Cravioto <u>et al.</u> (1951)

(\*) Valores para México

- (1) Mezcla de huevecillo de Krizousacorixa femorata, K. azteca, Corisella texcocana, C. mercenaria (hemípteros acuáticos).
- (2) Mezcla de larvas e imagos de Krizousacorixa femorata, K. azteca, Corisella texcocana, C. mercenaria y Notonecta unifasciata (hemípteros acuáticos).

Pajares (1969), comenta la importancia de realizar el análisis de minerales en las algas, ya que se caracterizan por contener fierro y manganeso, considerados como oligoelementos importantes. En las algas cultivadas en medios artificiales (Chlorella y Scenedesmus), la cantidad de minerales varía considerablemente (Scott, 1943) y según Krauss (1962), menciona que estos se encuentran, en las algas en concentraciones suficientes para la nutrición humana con excepción del calcio y el sodio.

En el caso de las algas marinas, según Morgan *et al.* (1980) P. palmata presenta una gran variedad de minerales, tales como altas concentraciones de potasio y sodio, y metales traza (Zn, Al, Fe, B, Ti, Mn, etc.). También menciona que los resultados son considerablemente diferentes, ya que probablemente se deba a las diferencias en la metodología, a las mismas algas, a la localidad, a la estacionalidad y a las variaciones poblacionales.

Las Tablas V y VI señalan el contenido de elementos minerales en las algas comestibles continentales.

#### (METODO BIOLOGICO)

En la Tabla VII se resumen las investigaciones realizadas en animales y humanos utilizando como alimento a las algas comestibles continentales; la información no pretende ser exhaustiva. En dicha Tabla se observa que Spirulina y Chlorella son las algas más estudiadas.

#### Evaluación de toxicidad y Contaminación

Las investigaciones realizadas sobre estos aspectos se

Tabla V. Composición química de minerales de Spirulina geitleri (mg/Kg, ps).

Ca	Fe	Na	Mg	Mn	Zn	K	Referencia
1315	580	412	1915	25	39	15400	Santillán (1982)

Tabla VI. Concentraciones de K, Na, Ca y Mg en Chlorella pyrenoidosa en medio Detmer variando la concentración de K/Na y K/Mg (mg atm. /g de ceniza, ps).

Concentraciones mg atm./1 sol.	K	Na	Ca	Mg	Referencias
$\frac{K}{Na} \frac{0}{8} \frac{4}{a} \frac{4}{4} \frac{mg}{mg} \frac{atm}{atm}$	0.01-0.27	0.03-0.25	0.20-0.34	0.06-0.23	Scott (1943)
$\frac{K}{Mg} \frac{0}{8} \frac{6}{a} \frac{6}{2} \frac{mg}{mg} \frac{atm}{atm}$	0.27-0.34		0.00-0.17	0.57-0.12	Scott (1943)

Tabla VII. Estudios realizados en animales y humanos, utilizando algas comestibles continentales en su alimentación.

Algas	Investigación (alimentación)	Observaciones	Referencias
<u>Spirulina platensis</u>	ratas	Estiman la utilización proteica neta (NPJ, 45.6-49.8) y el valor biológico (60-65).	Clément <u>et al.</u> (1967)
		Estiman la eficiencia proteica (PER, 2.21) y la utilización proteica neta (NPU 52.6)	Bourges <u>et al.</u> (1971)
<u>Spirulina geitleri</u>		Estiman la eficiencia proteica (PER, 2.61) y la utilización proteica neta (NPU, 56.6)	Bourges <u>et al.</u> (1971); Mendoza <u>et al.</u> (1971)
	reproductoras	Crecimiento normal y maduración sexual	Contreras <u>et al.</u> (1979)
	aves	Adecuada postura	Bezares <u>et al.</u> (1976).
		Adecuada pigmentación de la yema de huevo y la piel	Bezares <u>et al.</u> (1976); Silerio <u>et al.</u> (1976); Avila y Cuca (1974)
	cerdos	Factibilidad de empleo en la alimentación, adecuada conversión alimentaria.	Robles <u>et al.</u> (1975)
rumiantes	La digestibilidad (65.4%), además la pasta de ajonjolí puede ser sustituida por espirulina.	Calderón <u>et al.</u> (1976)	
<u>Chlorella</u>	ratas	Adecuado crecimiento, suplementada con pan, 0.75% lisina y 1.2% de treonina.	Hundley <u>et al.</u> (1956)
	gallinas	Adecuado crecimiento, suplementada con 0.1% de Metionina y mezcla de vitaminas.	Combs (1952)
	conejos	Adecuada ganancia en peso (147%), eficiencia nutricional (18.4%) y eficiencia de nitrógeno (99.2%) en comparación con dietas de soya.	Krauss (1962)
	humanos	Poca aceptabilidad y tolerancia con 100g de alga. Aceptable en períodos cortos.	Krauss (1962)
	Humanos y animales	Resumen de la información	Krauss (1962)

resumen en la Tabla VIII. Debe hacerse resaltar que los estudios de Bourges y colaboradores (1971), se consideran los primeros en México, sobre toxicología. Posteriormente Chamorro Cevallos (1980), presenta un trabajo más exhaustivo y completo que incluye toxicidad subaguda, crónica, reproducción y lactación, mutagénesis y teratogénesis; todo esto realizado en ratas experimentales.

#### EXPLOTACION DE LAS ALGAS

Finalmente los estudios de Spirulina han dado como resultado el éxito en el cultivo seminatural (Santillán, 1971; 1982), por lo tanto el cultivo masivo (2,000 ton/año; Santillán, 1982) y la explotación industrial (Durand Chastel y Clément, 1975); todo esto para el uso alimentario en animales y humanos.

Actualmente el cultivo intensivo de Chlorella y Scenedesmus es estudiado en diversos países. Existen plantas piloto funcionando en Checoslovaquia, en la Universidad de California, Bulgaria, Alemania y Japón (Santillán, 1971). Sin embargo la tecnología desarrollada para estos cultivos no ha podido proporcionar un proceso costeable, que permita producir biomasa a un precio competitivo con otros alimentos ricos en proteínas (Krauss, 1962; Santillán, 1971; Halperin, 1971).

Tabla VIII. Estudios de toxicidad y contaminación de las algas comestibles, continentales.

Algas	Investigación	Observaciones	Referencias
<u>Spirulina</u> <u>geitleri</u>	Bioensayos en ratas	Como límite 46 g. debido a purinas	Bourges <u>et al.</u> (1971)
		En gral. con 10-30% de <u>Spirulina</u> no causa variaciones en los parámetros de toxicidad.	Chamorro Cevallos (1980)
	Contaminación microbiana	Poca cantidad de coliformes, 1 col./100 ml. Puede usarse directamente.	González Arroyo <u>et al.</u> (1976)
<u>Chlorella</u>		No aparente	Krauss (1962)

## MATERIAL Y METODOS

## TRABAJO DE CAMPO

Para el análisis mineralógico se utilizó Phormidium tenue (Men.) Gom. (cocol) silvestre, asociado con Oscillatoria, Spirulina, Navicula, nemátodos y rotíferos; colectado en los vasos externos del Caracol de Sosa Texcoco, S.A., Edo. de México. Las muestras que se emplearon para el análisis químico fueron colectadas en los meses de agosto y septiembre de 1982. Las muestras se recogieron en bolsas de polietileno y se transportaron en hieleras para su conservación. Una segunda muestra se utilizó para su revisión microscópica en frascos ámbar, fijándose en formol neutro al 4%.

La temperatura ambiente en el momento de la colecta fue de 31°C y la del agua de 22°C, con un pH de 9.1 y una salinidad del 4‰. El pH se midió en potenciómetro marca Corning modelo 610A Expand y la salinidad en refractómetro marca American Optical (cat. 10419).

## TRABAJO DE LABORATORIO

Con el fin de identificar el material colectado, solo para confirmar lo citado por Ortega (1972a), se utilizaron preparaciones temporales del material vivo y fijado.

Por otro lado y al mismo tiempo, se utilizó el P. tenue, cultivado en el laboratorio en forma unialgal. Se obtuvo de la Colección de Cultivos Unialgales del Laboratorio de Ficología del Instituto de Biología (Cul. 1, UL-Medio Detmer/ aguas al-

calinas, Texcoco, México).

La preparación del cultivo de P. tenue en condiciones uni-algales se llevó a cabo de la manera siguiente:

Se sembró el alga en placas de agar en base de medio líquido Detmer + A<sub>5</sub> (Halperin, 1963), y se incubaron por 15 días en cámara de crecimiento a una temperatura promedio de 35°C, con una intensidad luminosa promedio de 4,800 lux y con un fotoperíodo de 8 horas luz-16 horas oscuridad. Se realizaron varias resiembras con el propósito de reactivar el crecimiento. Posteriormente el alga se trasladó a 15 matraces Erlenmeyer de 250 ml conteniendo medio Detmer + A<sub>5</sub> (Allen y Stayner, 1968; Halperin, 1963), ajustando el pH 9, y se incubaron en condiciones de laboratorio (19°-25°C) durante 15 y 30 semanas.

La siguiente metodología se utilizó para P. tenue silvestre y cultivado.

P. tenue silvestre se lavó abundantemente con agua corriente con el objeto de eliminar las impurezas. El alga cultivada se lavó con agua bidestilada utilizando una red de fitoplancton; posteriormente se pasaron a frascos. P. tenue silvestre se colocó en un homogeneizador con el fin de tener una masa uniforme; finalmente también se colocó en frascos.

Ambas algas (\*) se secaron utilizando el método de liofilización durante un período de 10-15 horas, dependiendo del grado de humedad. Una vez secas se pulverizaron en mortero.

El análisis químico mineralógico se efectuó en P. tenue silvestre para las muestras de agosto y septiembre. En P. tenue

---

(\*) Nota: se refiere a P. tenue silvestre y cultivado.

cultivado se realizó en las muestras cosechadas de 15 y 30 semanas de incubación. Se realizaron duplicados o triplicados según el siguiente tratamiento:

**Digestión ácida:** Las muestras se colocaron en vasos de precipitados de 50 ml previamente lavados con ácido nítrico. Se les añadió una mezcla de este ácido concentrado ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) al 72%, aflorando después con agua bidestilada a 25 ml; finalmente se centrifugó a 10,000 rpm durante 20 minutos y se cuantificaron los minerales por absorción atómica. Esta técnica se utilizó por su fácil manejo y debido a que no se corre el riesgo de pérdida de elementos.

Se desarrollaron los blancos para cada uno de los elementos a cuantificar. Por otro lado, se prepararon las soluciones patrón para cada uno de los elementos a analizar, utilizando soluciones madre Tritisol marca Merck.

En la lectura del material el calcio, fierro, magnesio, zinc, cobre, manganeso y cobalto se cuantificaron en espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin-Elmer mod. 403 (A.O.A.C. 3.006-3.009,1980). El sodio y el potasio se evaluaron por el método flamométrico (A.O.A.C. 3.020-3.023,1980).

Por último se calculó para cada uno de los elementos analizados la concentración en g/100g (ps) para cantidades mayores y en mg/Kg (ps) en las menores, con sus respectivos intervalos máximos y mínimos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

## COMPOSICION QUIMICA

Los resultados promedio del análisis efectuado en Phormidium tenue silvestre para agosto y septiembre y P. tenue cultivado de 15 y 30 semanas de incubación, se presentan en la Tabla IX.

Los minerales se dividieron en forma arbitraria en mayores y menores; debido a la magnitud de las concentraciones registradas en dichas muestras. En base a lo anterior, los minerales mayores P. tenue silvestre y P. tenue cultivado son sodio, calcio, magnesio, fierro y potasio y para los minerales menores tenemos al zinc, manganeso, cobre y cobalto (Figs. 1, 2).

En primera instancia se observaron para ambas algas (\*) altas concentraciones de calcio, sodio, zinc y manganeso, y en menor cantidad magnesio, potasio, fierro, cobre y cobalto (Figs. 1, 2).

## CAUSAS DE VARIACION DEL MATERIAL EN ESTUDIO

Para la obtención de límite de confianza más cercanos en cuanto a la concentración de minerales. P. tenue, se realizaron cuantificaciones en agosto y septiembre para el alga silvestre, y para el de 15 y 30 semanas de incubación para la cultivada. Los resultados se muestran en la Tabla X.

---

(\*) Nota: para fines de discusión se usará el término "ambas algas" para referirse a P. tenue cultivado y silvestre.

Tabla IX. Contenido de minerales de *Phormidium tenue* silvestre y cultivado  
(g/100g y mg/Kg, ps).

Elemen to	<u>P. tenue silvestre</u>			Elemen to	<u>P. tenue cultivado</u>		
	Agosto (g)	Septiembre (g)	Promedio (g)		15 semanas (g)	30 semanas (g)	Promedio (g)
Ca	1.82	1.78	1.80	Ca	3.61	3.87	3.74
Mg	-	0.79	0.79	Mg	1.25	0.44	0.84
Na	6.24	4.91	5.57	Na	5.99	3.64	4.81
K	0.48	0.42	0.45	K	0.90	0.54	0.72
Fe	0.64	0.41	0.52	Fe	0.17	0.07	0.12
	(mg)	(mg)	(mg)		(mg)	(mg)	(mg)
Zn	556.8	296.8	426.8	Zn	183.4	560.8	372.1
Cu	47.7	52.8	50.2	Cu	24.1	18.2	21.2
Mn	124.4	121.4	122.9	Mn	473.1	351.1	412.1
Co	14.3	20.0	17.1	Co	0.0	20.6	10.2

Tabla X. Intervalos (máx. y mín.) de concentración de minerales en Phormidium tenue silvestre y cultivado (g/100g y mg/Kg, ps).

<u>P. tenue silvestre (1)</u>		<u>P. tenue cultivado (2)</u>	
Elemento	(g)	Elemento	(g)
Ca	1.76-1.85	Ca	3.61-3.87
Mg	0.79*	Mg	0.44-1.25
Na	4.31-6.30	Na	3.64-5.99
K	0.39-0.49	K	0.54-0.90
Fe	0.39-0.65	Fe	0.07-0.17
	(mg)		(mg)
Zn	296.8-594.0	Zn	183.4-592.2
Cu	40.0-57.1	Cu	18.2-24.1
Mn	115.9-132.2	Mn	351.1-473.1
Co	14.2-22.8	Co	0.0-20.6

(1) para agosto y septiembre (1982)

(2) para 15 y 30 semanas de cultivo

(\*) sólo para septiembre.

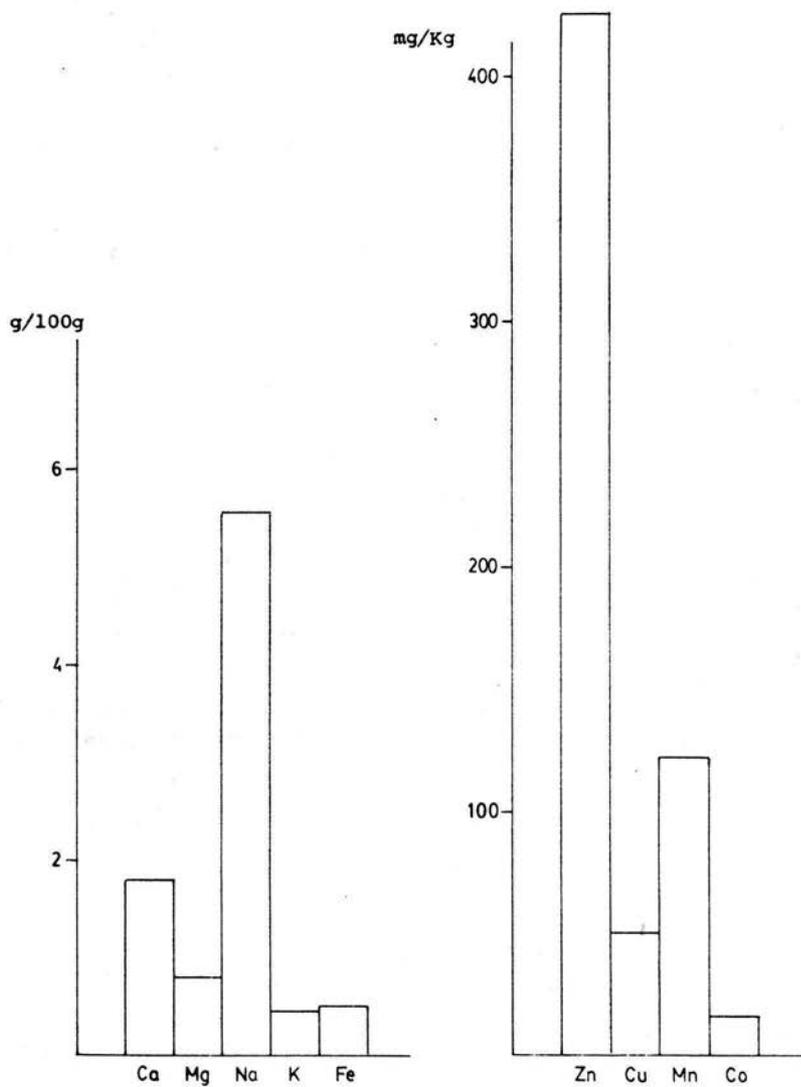


Fig. 1. Contenido promedio de minerales del *Phormidium tenue* silvestre.

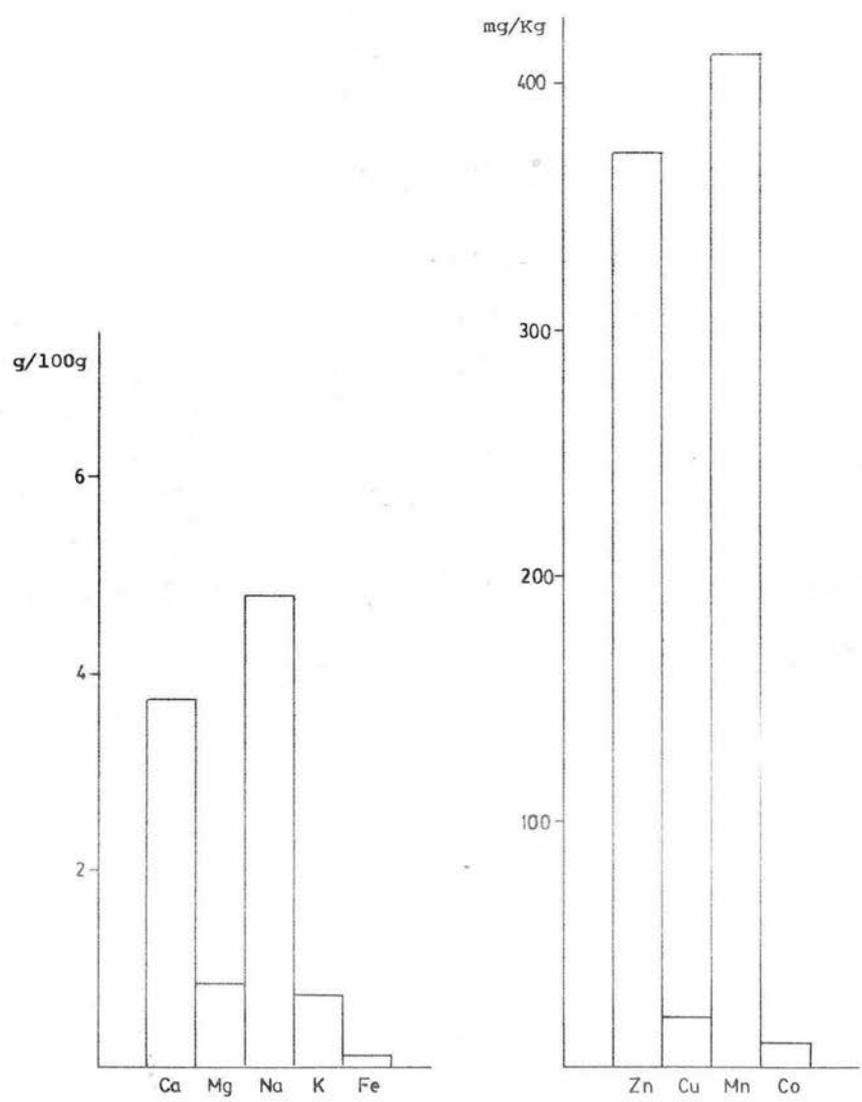


Fig. 2. Contenido promedio de minerales del Phormidium tenue cultivado.

La variación promedio de las concentraciones de minerales después del tiempo señalado fue como sigue: En P. tenue silvestre generalmente no hubo variación muy marcada (0.04-0.23g/100g y 3-5.7mg/Kg), con la excepción de los elementos sodio (1.3 g/100g) y zinc (260 mg/Kg), observándose una disminución de la concentración para el mes de septiembre (Figs. 3 y 4). Para P. tenue cultivado, consistió globalmente (0.1-2.35g/100g y 5.9-374mg/Kg), con un descenso del contenido de minerales (Mg, Na, K, Fe, Cu y Mn) para el período de 30 semanas de incubación; por el contrario, se observa un ascenso promedio de zinc (377 mg/Kg) y cobalto (20.6mg/Kg) y ligeramente para el calcio (0.26 g/100g) (Figs. 5 y 6). En consecuencia se deduce que el cultivo joven (15 semanas) presenta la mayor concentración de la generalidad de los elementos, en cambio cuando es viejo (30 semanas) se observa una disminución de ellos.

Los estudios de variación anual de los minerales en las algas comestibles continentales (silvestres) no existen. Los de Spirulina solo marcan el valor máximo y el mínimo (Sosa Texcoco, 1978). La composición mineralógica de Chlorella en los cultivos varía considerablemente según la concentración en el medio y además de otros factores (Krauss, 1962; Wiessner, 1962).

Es posible que la composición inorgánica de sus células esté regulado por un proceso selectivo de absorción que indudablemente está íntimamente asociado con el metabolismo. Sin embargo el contenido de minerales ambientales (composición del medio), puede influenciar su absorción, probablemente por interacciones químicas directas de los elementos ambientales con los constituyentes celulares (Scott, 1943).

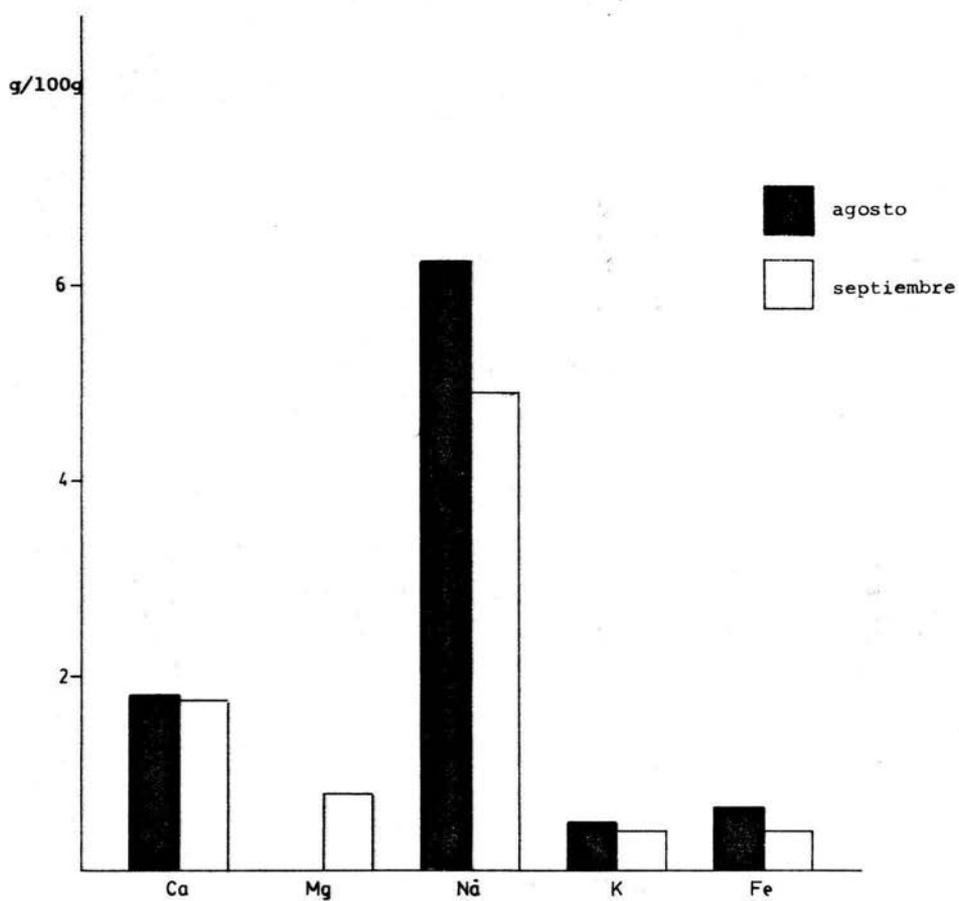


Fig. 3. Comparación del contenido de macroelementos en *Phormidium tenue* silvestre en los meses de agosto y septiembre.

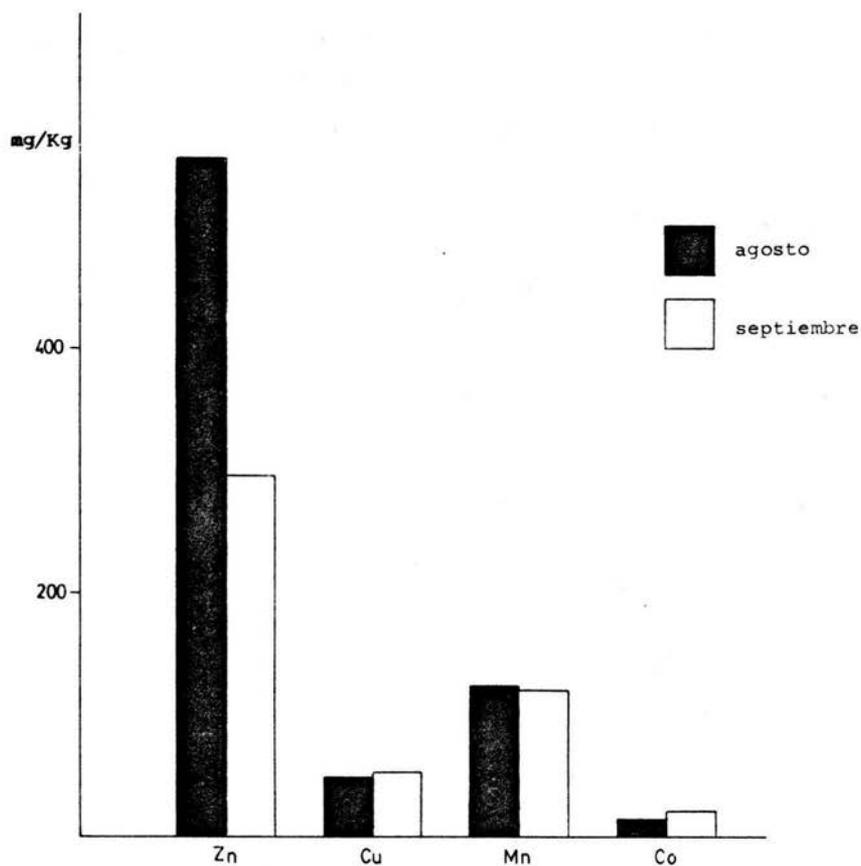


Fig. 4. Comparación del contenido de microelementos en *Phormidium tenue* silvestre, en los meses de agosto y septiembre.

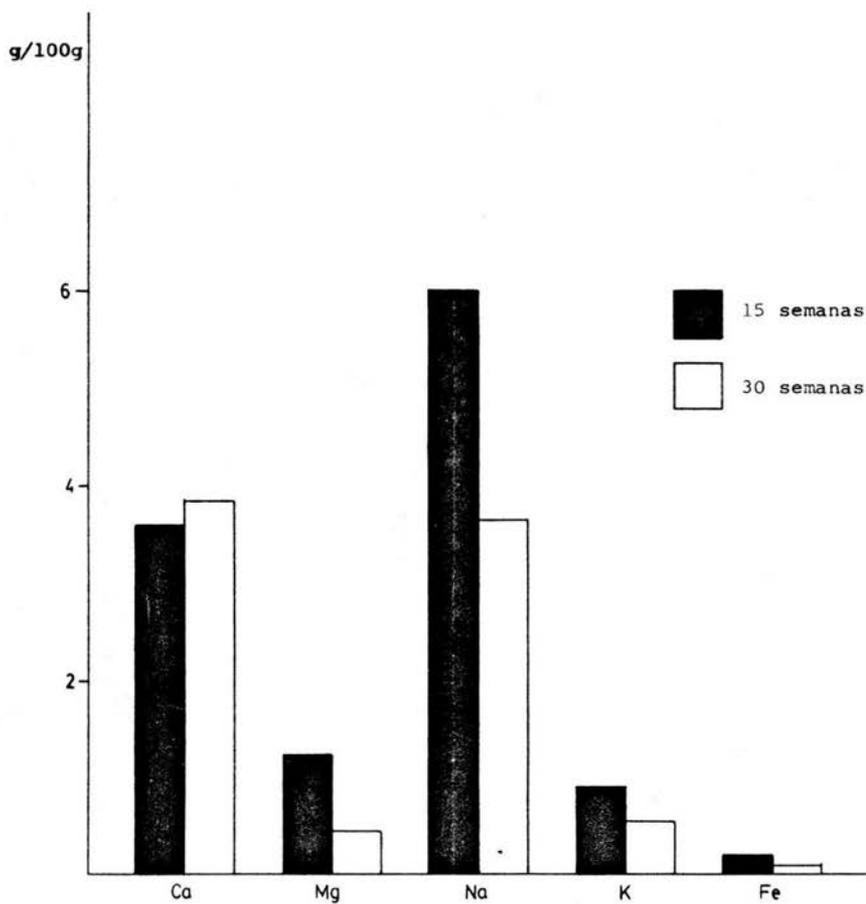


Fig. 5. Comparación del contenido de macroelementos en *Phormidium tenue* cultivado durante 15 y 30 semanas.

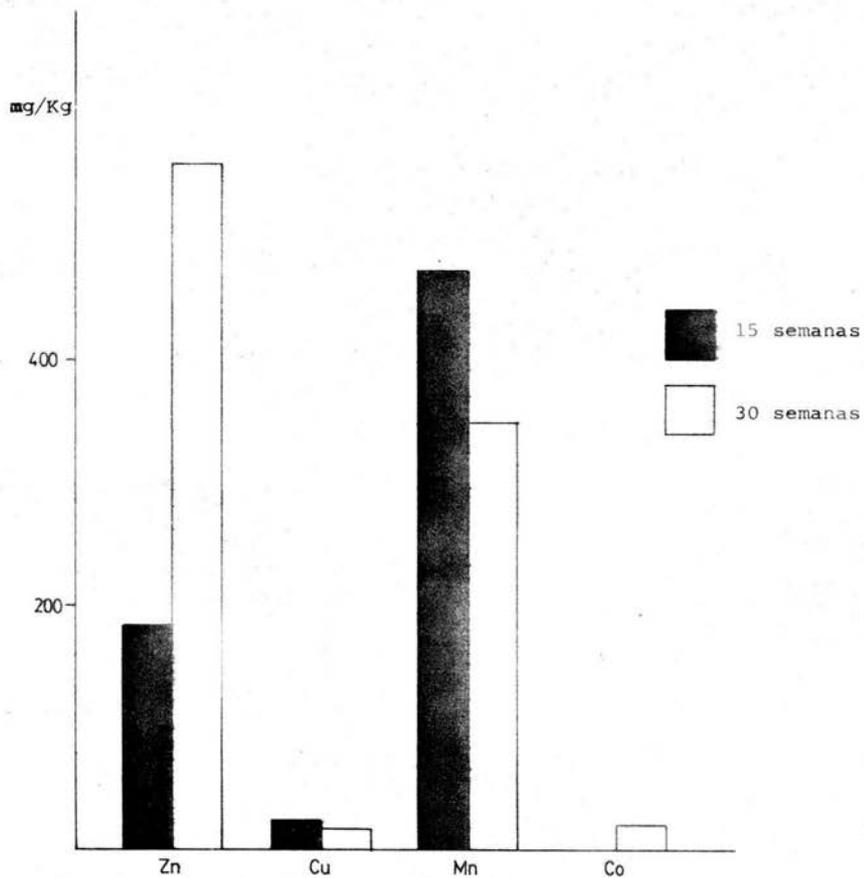


Fig. 6. Comparación del contenido de microelementos en *Phormidium tenue* cultivado durante 15 y 30 semanas.

COMPARACION DE P. TENUE SILVESTRE Y CULTIVADO

Indudablemente deben de existir diferencias de un alga cultivada regida por el medio de cultivo (Wiessner, 1962) y la silvestre, ya que las condiciones ambientales son muy distintas. La gran inestabilidad del nivel lacustre influye notablemente sobre la fisonomía del Lago de Texcoco, así como para la flora y fauna del mismo (Temp. anual: 14°C con fluctuaciones; precipitación anual: 600 mm; evaporación: 200 mm; presión atm.: 580 mmHg; iluminación fuerte y humedad atm. media del 60% (Rzedowski, 1957).

Los resultados de dicha comparación promedio, se señalan en las figuras 7 y 8. A pesar de que existe una variación en ambas muestras, las concentraciones no son muy distantes con respecto a los valores promedio del Mg, Na, K, Fe y Co (0.05-0.76g/100g y 6.9mg/Kg) del alga silvestre y cultivada; y presenta una cierta diferencia en cuanto a Ca (1194g/100g), Zn (54.7mg/Kg), Cu (29mg/Kg) y Mn(289.2mg/Kg), (Tabla X). No obstante de existir diferencias, se puede afirmar que bajo condiciones técnicas establecidas, ambas algas pueden servir como fuente excelente de minerales.

Sin embargo se debe tomar en cuenta que los medios de cultivo no presentan una uniformidad respecto a la edad de las células (Myers, 1962), ni en el metabolismo (Tamiya et al., 1953) y están influenciadas por el medio de cultivo (Wiessner, 1962), y otros factores como la concentración de minerales (K:Mg; K:Na) (Scott, 1943).

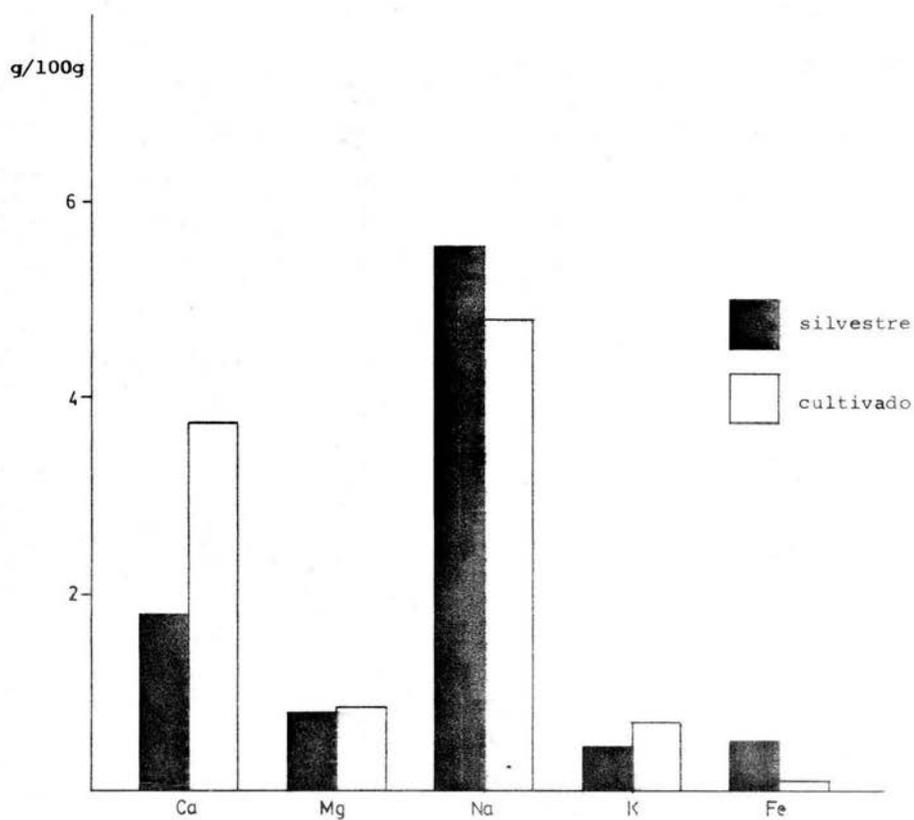


Fig. 7. Comparación del contenido promedio en macroelementos de *Phormidium tenue* silvestre con el cultivado.

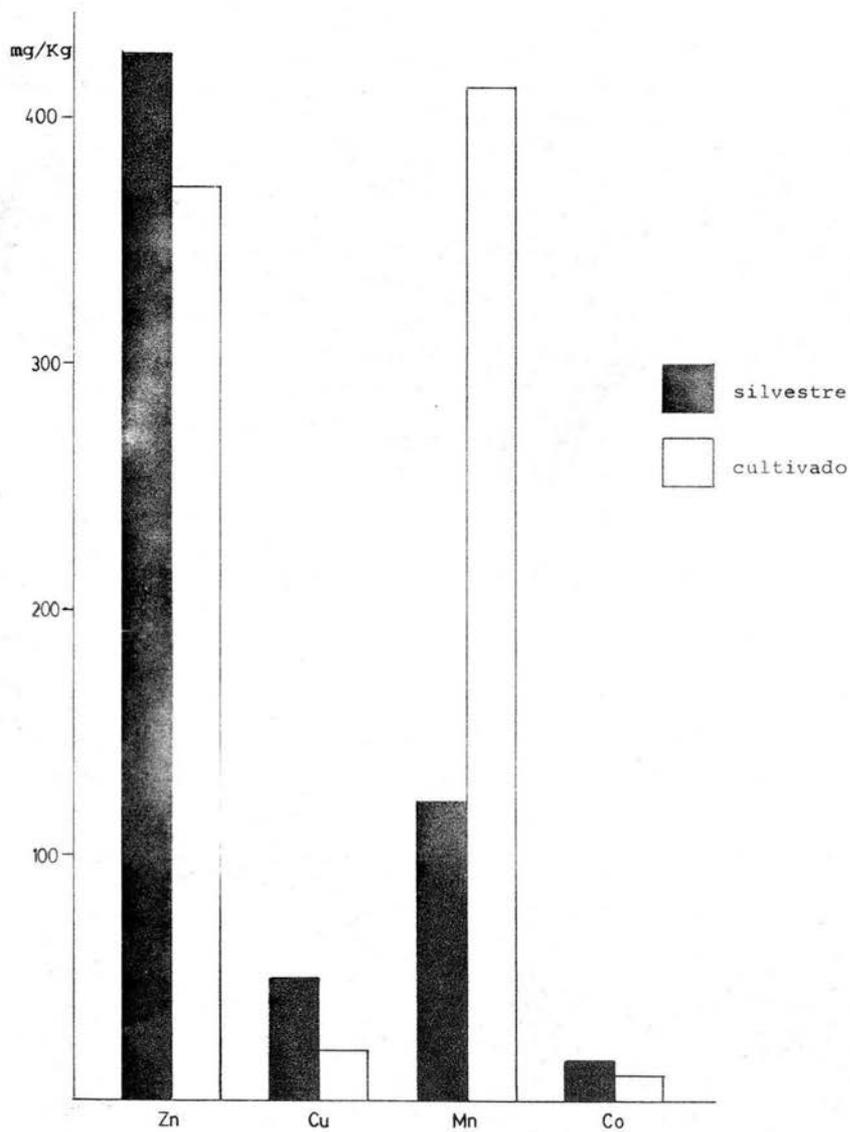


Fig. 8. Comparación del contenido promedio en microelementos de *Phormidium tenue* silvestre con el cultivado.

Para las algas marinas, como en el caso de Palmaria palmata (dulce), presenta una considerable variación de los resultados obtenidos en minerales, los cuales probablemente se deban a las diferencias metodológicas y a las diferencias en las plantas; a la situación geográfica, a la estacionalidad y a las variaciones poblacionales (Morgan et al., 1980). Algunos constituyentes (proteínas, carbohidratos, minerales, etc.) muchas veces están en función de la estacionalidad de las algas, pero la falta de datos (pH, temp., salinidad, oxígeno, alcalinidad y otros fisicoquímicos) detallados en el momento de la colecta, hace difícil correlacionar las variables medio-ambientales con la composición química de las plantas.

En el caso de los alimentos de uso común para los humanos, las causas de variación en las concentraciones de minerales son similares, v.g. el contenido de cobre de los alimentos, se debe: a) Características inherentes de las plantas y animales los cuales pueden ser los factores genéticos y por otro lado la edad; b) Factores medio ambientales, esto incluye la localización geográfica, estacionalidad, el suelo y factores contaminantes: fertilizantes, insecticidas, etc. y c) Métodos de análisis, procesamiento y cocinado (\*) (Pennington y Colloway, 1973).

De la misma forma hay disparidad en el contenido de zinc en los alimentos (Murphy et al., 1975). Dada la variación implícita de los organismos, es necesario realizar estudios mensuales al menos durante un año para la obtención de datos confiables.

---

(\*) Nota: solo para el caso de alimentos.

## COMPARACIONES CON ALIMENTOS Y OTROS MATERIALES BIOLÓGICOS

P. tenue silvestre y cultivado puede ser comparado con algas marinas y continentales, con fanerógamas acuáticas de uso nutricional y con los alimentos de uso común en la alimentación humana, para encontrar su posible valor nutritivo.

Con algas (Tabla XI)

P. tenue silvestre tiene altas concentraciones de calcio (1.80 g/100g), aproximadamente es 16 veces mayor que la Spirulina geitleri y 3.2 veces que Palmaria palmata (llamada "dulce" por los habitantes de Gran Bretaña, Morgan et al., 1980). También el P. tenue cultivado es 6.5 veces mayor que P. palmata.

P. tenue silvestre y cultivado mostró el contenido (promedio) de magnesio (0.79 y 0.84 g/100g), 3.2 veces mayor que todas las algas utilizadas en la comparación (Tabla XII).

El sodio (5.57 y 4.81 g/100g) de ambas algas son 3 veces mayor que P. palmata y 173 que S. geitleri.

De las 7 especies de algas utilizadas, el P. tenue silvestre y cultivado presenta la mayor concentración de potasio (0.45 y 0.72 g/100g), sin llegar a niveles traza. P. palmata es mayor 11.9 veces y S. geitleri 2.4 veces.

El contenido de hierro (0.52 g/100g) de P. tenue silvestre es 10 veces mayor que S. geitleri y P. palmata no obstante que el alga cultivada es menor que la silvestre, continúa siendo 2.4 veces mayor que aquellas especies de algas. Por el contrario la diatomea Navicula glancei se presenta 1.6 veces mayor que ambas algas.

Tabla XI. Valores promedio comparativos del contenido de minerales en *Phormidium tenue* silvestre y cultivado con algas continentales y marinas (g/100g y mg/Kg, ps).

Algas	Ca (g)	Mg (g)	Na (g)	K (g)	Fe (mg)	Zn (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)	Co (mg)	Referencias
<i>Phormidium tenue</i> silvestre	1.80	0.79	5.57	0.45	5,254.2	426.8	50.2	122.9	17.1	presente estudio
<i>Phormidium tenue</i> cultivado (Cyanophyta)	3.74	0.84	4.81	0.72	1,234.4	372.1	21.2	412.1	10.2	presente estudio
<i>Spirulina maxima</i>	0.11	0.16	0.03	1.43	527.5	33.0	-	21.5	-	Santillán (1982)
<i>Ahnfeltia plicata</i> (Rhodophyta)	0.58	0.21	-	-	3,000.0*	-	100.0*	300.0*	-	Nadin (1979)
<i>Palmaria palmata</i>	0.56	0.45	1.74	7.0	500.0	200.0	30.0	45.0	2.6	Morgan <i>et al.</i> , (1980)
<i>Navicula glacei</i> (Diatomophyceae)	0.26	0.21	1.28	0.80	8,596.0	471.0	357.0	100.0	-	Whitaker y Richardson (1980)
<i>Laminaria digitata</i> (lámina) (Phaeophyta)	-	-	-	-	138.0	64.0	3.0	9.0	0.29	Johnston (1966)
<i>Laminaria digitata</i> (Cauloide)	-	-	-	-	293.0	62.0	5.0	10.0	0.92	Johnston (1966)
<i>Fucus vesiculosus</i>	-	-	-	-	221.0	60.0	7.0	116.0	0.65	Johnston (1966)
<i>Fucus serratus</i>	-	-	-	-	375.0	70.0	5.0	155.0	0.84	Johnston (1966)

\* con base en cenizas.

El zinc de ambas algas (426.8 y 372.1 mg/Kg) son aproximadamente 2 veces mayor que P. palmata y 12 veces que S. geitleri. Al mismo tiempo es 6 veces mayor a las especies de Laminaria y Fucus y presenta un valor semejante con N. glacei (471 mg/Kg).

Respecto al cobre ambas algas (50.2 y 21.2 mg/Kg) mostraron una concentración promedio de 10 veces mayor que las especies de Laminaria y Fucus, por el contrario N. glacei (357 mg/Kg) es 7 veces mayor a las algas estudiadas.

El manganeso de ambas algas (122.9 y 412.1 mg/Kg) son en promedio 1.7 a 29 veces mayor que todas las algas discutidas, solo A. plicata (300 mg/Kg) es 1.1 veces mayor que ambas algas.

Por último el cobalto (17.1 y 10.2 mg/Kg) de ambas algas es 5 veces mayor que P. palmata y 19 que las demás algas discutidas.

En consecuencia, las concentraciones de calcio, magnesio, sodio y cobalto son notablemente altas en comparación con las algas marinas y continentales; en hierro, zinc, cobre y manganeso son relativamente altas y en potasio son bajas.

#### Con fanerógamas acuáticas (Tabla XII)

El calcio (1.80 g/100g), en P. tenue silvestre se observan valores similares con Hydrilla (1.08 g/100g) y Lemna gibbs (1.72g/100g). Sin embargo esta alga es 2 veces mayor que Pistia stratioides.

Ambas algas presentan concentraciones similares de magnesio (0.79 y 0.84 g/100g) con L. gibbs (0.78g/100g) y P. stratioides (0.76g/100g); por el contrario la Hydrilla es 1.4 veces mayor que

Tabla XII. Valores comparativos del contenido de minerales en Phormidium tenue silvestre y cultivado con fanerógamas acuáticas (g/100g y mg/Kg).

	Ca (g)	Mg (g)	Na (g)	K (g)	Fe (mg)	Mn (mg)	Referencias
<u>Phormidium tenue</u> silvestre	1.80	0.79	5.57	0.45	5254.2	122.9	presente estudio
<u>Phormidium tenue</u> cultivado	3.74	0.84	4.81	0.72	1234.4	412.1	presente estudio
<u>Hydrilla</u>	1.08	1.08	1.80	2.07	382.0	40.0	Thong Tan (1970)
<u>Lemna gibbs</u>	1.72	0.78	0.91	2.05	669.0	32.0	Thong Tan (1970)
<u>Pistia stratioides</u>	0.88	0.76	0.40	2.38	227.0	64.0	Thong Tan (1970)

el P. tenue silvestre.

La comparación en sodio (5.57 y 4.81 g/100g) de P. tenue silvestre y cultivado es aproximadamente 5 veces mayor que las fanerógamas acuáticas.

De las 3 especies de fanerógamas acuáticas referidas se presentan 3.4 veces mayores en el contenido de potasio con respecto a ambas algas (0.45 y 0.72 g/100g).

El fierro (5254.2 y 123.4 mg/Kg) y el manganeso (122.9 y 412.1 mg/Kg) de ambas algas son 12 y 6 veces mayores, respectivamente que las fanerógamas acuáticas.

Es necesario aclarar que la Hydrilla es una planta acuática con un alto valor alimentario para el crecimiento de carpas (Ctenopharyngodon idellus) debido a su alto contenido de proteínas y en parte al calcio, fósforo y otros minerales (Thong Tan, 1970). Desde un punto de vista general se puede decir que las concentraciones de calcio, sodio, hierro y manganeso de ambas algas, presentan concentraciones mayores en comparación con las fanerógamas acuáticas, y bajas en potasio.

Con los alimentos de uso común en la dieta humana(\*)

(Tablas XIII; XIV\*\*)

El calcio (1804 y 3741 mg/100g) de P. tenue silvestre y cultivado son 1.4 a 16 veces mayores con respecto a la leche y derivados; 22 a 27 veces que los vegetales (espinacas) y de 7 a 78 que todas las leguminosas (principales fuentes dietéticas de calcio, Scrimshaw y Young, 1976). También son mucho mayores, en proporción de 16 a 257 veces que los cereales, frutas,

---

(\*) Nota: para conservar las equivalencias originales de los alimentos comunes y poder realizar las comparaciones respectivas, se empleó solo en ésta parte las unidades mg/100g.

(\*\*) datos para México.

carnes, pescados, mariscos y otros. Las excepciones son el pescado seco salado y tipo charal; los acosiles y los charales, que se presentan de a 2.2 veces mayores que ambas algas. En consecuencia se puede observar que el P. tenue silvestre y cultivado es una fuente excelente de calcio (1 a 78 veces que las fuentes comunes de calcio).

El contenido de sodio (5570 y 4910 mg/100g) de ambas algas es mayores en una proporción que va de 2 a 5570 veces que los cereales, leguminosas, vegetales, frutas, oleaginosas, carnes, pescados y mariscos; derivados y otros. Los más cercanos son los derivados 640 a 1140 mg/100g (quesos) y las excepciones son el bacalao el cual es 1.2 veces mayor que ambas algas.

El magnesio (799 y 846 mg/100g) de ambas algas es mayor en una proporción que va de 26 a 164 veces incluyendo cereales, leguminosas, frutas, oleaginosas, carnes, pescados, mariscos, derivados y otros. En consecuencia presentan un aporte superior de dicho elemento, incluyendo fuentes comunes de este mineral (granos integrales, verduras).

Al comparar el contenido de potasio de ambas algas (452 y 722 mg/100g) las leguminosas son mayores de 1.3 a 3.2 veces; las frutas (aguacate) 1.2 veces; las oleaginosas (cacahuate, cacao) 1.2 veces; el pescado (fresco) 2.0 veces; las carnes (jamón) 1.0 veces; y otros (huevo) 1.3 veces. Además presentan valores semejantes a otras frutas (limones, melón, etc.) 116 a 420 mg/100g; a cereales (arroz, maíz, etc.) 79 a 380 mg/100g; vegetales (espinacas) 467 a 610 mg/100g; carnes (res, pollo, etc.) 218 a 338 mg/100g; pescados y mariscos, 80 a 1671 mg/100g. A pesar de que el P. tenue silvestre y cultivado es pobre en potasio, no llega a

Tabla XIII. Valores comparativos promedio del contenido de minerales en *Phromidium tenue* silvestre y cultivado con otros alimentos. (mg/100g)

	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu	Mn
<i>Phromidium tenue</i> silvestre	1804.9	799.0	5570.0	452.4	525.4	42.6	5.0	12.2
<i>Phromidium tenue</i> cultivado	3741.8	846.0	4810.0	722.3	123.4	37.2	2.1	41.2
<b>Cereales:</b>								
Arróz	10 (9); 24a(11)	28a(11)	2a(11)	79g(11)	.9 (9); 1.4q(11)	1.3 (7)	.28 <sup>±</sup> .14(2); .183g(11)	1.1 (10) (g11)
Cebada	33 (9); 16q(11)	37a(11)	3q(11)	160g(11)	3.6 (9); 2q(11)	2.1v(7)	.82 <sup>±</sup> .24(2); .753g(11)	1.9 (10); 1.684g(11)
Mafz	7d(9) (1); 9d(11)	40d(1); 38d(11)	.4d(11)	300d(11)	2.3 (9); .5d(11)	2.1v(7)	.33s(2); .06(11)	.54(11); .15d(11)
Trigo	36a(6); 37(9)	160a(6)	2a(6)	380a(6)	3.2 (6); 4.1 (9)	3.4a(7)	.93 <sup>±</sup> .073s(2)	5.45(10)
Harina Integral de trigo	41 (6); 37(9); 38(11)	113(6); 122(11)	3(6)	324(11)	3.3 (6); 4.1 (9); 2.3 (11)	2.4 (7)	.5 <sup>±</sup> .26(2); .435(11)	4.28(11)
Harina de maíz	10(11)	86(11)	1(6); 2(11)	120(11)	4.6(6); 2.4(11)			
<b>Leguminosas:</b>								
Chícharo verde	26d(1); 64(9); 22d(11)	32d(1); 27d(11)	.9d(11)	895e(6)	5.1e(6); 4.8(9)	3.2f(7)	.22 <sup>±</sup> .02d(2); .23d(11)	.41d(11)
Frijoles comunes	144e(6); 137(9)	170e(6)	19e(6)	1196e(6)	7.8e(6); 6.7(9)	2.8f(7)	1.503e(11)	957t(11)
Garbanzos	74e(6); 150(1) (9)	230(6) (1)	35e(6)	1024e(6)	5.8(6); 7.2(9)	2.7f(7)		
Lentejas	79f(6); 56(9); 59a(11)	80(6); 86a(11)	30f(6); 3a(11)	790f(6)	6.8(6); 6.1(9)	3.5f(7)	.64(2); .7a(11)	
Soya	227e(11)	310e(11)	4(11)	1900e(11)	8e(11)		1.17 <sup>±</sup> .342(2); .12e(11)	2.95(11)
<b>Vegetales:</b>								
Espinacas	81(9); 87d(11)	55d(11)	42d(11)	489d(11)	3(d11) (9)	.8(7)	.11 <sup>±</sup> .05(2) (d11)	.8228a(11)
<b>Frutas:</b>								
Cerezas	18(9) (1); 19d(11)	14d(11)	2d(11)	260d(11)	.4(9); .5d(11)		.12 <sup>±</sup> .05s(2); .07d(11)	.064 <sup>±</sup> .18g(3)
Límones	40d(11)	9d(11)	6d(11)	148d(11)	.6d(11)		.15(2); .26d(11)	.04d(11)
Manzanas	6(d11) (1)	5(1); 6d(11)	1d(11)	116d(11)	.3(d11) (9)	.05(7)	.09 <sup>±</sup> .07(2); .071(11)	.084(11)
Melón	17h(11)	17h(11)	12h(11)	371 <sup>±</sup> 22b(3)	.4h(11)		.04h(11)	.04h(11)
Naranjas	42d(1); 34(9); 33d(11)	12d(11)	.3d(11)	170d(11)	.4d(11)	.2(7)	.06 <sup>±</sup> .04s(2); .076d(11)	.025d(11)
Plátanos	9(1); 8(9) (d11)	36(1); 31d(11)	1d(11)	420d(11)	.6d(11) (d11)	.2(7)	.17 <sup>±</sup> .08(2); .20d(11)	.64d(11)
Uva	17d(11)	7d(11)	2d(11)	254d(11)	.6d(11)		.09 <sup>±</sup> .03s(2); (d11)	.083d(11)
Zarzamora	32o(11)	24o(11)	4o(11)	181o(11)	1o(11)		.16 <sup>±</sup> .05(2) (o11)	.059o(11)
Aguate	10(11)	30(11)	3(11)	732 <sup>±</sup> 63(3)	.6(11)		.39(2) (11)	4.2(11)
<b>Oleaginosas:</b>								
Cacahuete	52(9); 65(1)	169(1)	2k(11)	740k(11)	1.9k(11)	2.9(7)	.62(2); .27(11)	1.51k(11)
Nueces	100(9)						1.77(2)	
Semillas de girasol	48(9)							
<b>Carnes:</b>								
Res	10c(9) (1); 10m(11)	24c(1) (m11)	70m(11)	338m(11)	2.1(9); 3.7m(11)	3.8(7)	.08 <sup>±</sup> .05(2)	.01(11)
Cerdo (media grasa)	7(9); 10(11)	24(1)	69(11)	280(11)	.4(9); 2.5(11)	2.7(7)	.41(2); .1(11)	.028 <sup>±</sup> .4p(4)
Pollo	12(9)	20(11)	87.85 <sup>±</sup> 1.6p(4)	218 <sup>±</sup> 5.4p(4)	1.5(9)	2.9(7)	.18(2)	
<b>Pescado y Mariscos:</b>								
Bacalao	12d(11)	26(1)	140i(11)	404i(11)	1.8(9)		.18 <sup>±</sup> .22(2)	
Camaron	113d(1); 110(9)	42(1)	210d(11)	180d(11)	.8d(11)	1.5(7)	.6 <sup>±</sup> .4(2); .4i(11)	
Langosta	40d(1); 60d(11)	2(1)				1.8(7)	1.69 <sup>±</sup> .33(2); 73d(11)	
Ostión	108d(1)	3 <sup>±</sup> d(11)				74.7r(7)	17.14 <sup>±</sup> 41.97s(2)	
Salmón	74d(1)	29d(1) (j11)	.45d(11)	396j(11)	.8j(11)	.9(7)	.7(2)	
Pescado seco salado entero s/víceras	2400(9)				12(9)			
<b>Leche y derivados</b>								
Huevo entero	50(9); 54(11)	13(11)	130(11)	785n(6); 100(11)	2.5(9); 2.4(11)	1(7)	.3(2); .253(11)	.033(11)
Leche entera lfg.	119(9); 125d(11)	13d(11)	55 <sup>±</sup> 3(5); 58d(11)	138d(11)	.1d(9) (11)	.4(7)	.035 <sup>±</sup> .026u(2); .03d(11)	
Queso Cheddar	741 <sup>±</sup> 29(5)	26.8 <sup>±</sup> .8(5)	666 <sup>±</sup> 40(5)	146 <sup>±</sup> 16(5)	.931 <sup>±</sup> .242(8)	4(7); 2.993(8)	.11 <sup>±</sup> .07(2); .03 <sup>±</sup> .008(8)	.009 <sup>±</sup> .001(8); .002d(11)
Queso Parmesano	1140 <sup>±</sup> 88.2(8)	51.1 <sup>±</sup> 4.1(8)	1853.8 <sup>±</sup> 539.7(8)	130.1 <sup>±</sup> 16.8(8)	.954 <sup>±</sup> .45(8)	3.291(8)	.36(2); .399 <sup>±</sup> .006(8)	.0213 <sup>±</sup> .004(8)
Queso Roquefort	640 <sup>±</sup> 137.5(8)	29.7 <sup>±</sup> 4.9(8)	1822.2 <sup>±</sup> 384(8)	90.7 <sup>±</sup> 17.5(8)	.652 <sup>±</sup> .42(8)	1.967(8)	.0344 <sup>±</sup> .008(8)	.030 <sup>±</sup> .0044(8)
<b>Otros:</b>								
Cacao en polvo	150(1); 160(11)	420(11)	60(11)	900(11)		5.6(7)	3.57 <sup>±</sup> 1.07(2); 4.3(11)	
Café instantáneo						.6(7)	.99(2)	
Té (lipton)						3.3(7)	22.3(2)	
Germen tostado						15.4(7)		

- (1) Hankin *et al.* (1970)  
 (2) Pennington y Calloway (1973)  
 (3) Zook y Lehmann (1968)  
 (4) Meiners *et al.* (1982)  
 (5) Feeley *et al.* (1972)  
 (6) Feeley y Watt (1970)  
 (7) Murphy *et al.* (1975)  
 (8) Wong *et al.* (1978)  
 (9) Chatfield (1955)  
 (10) Skinner y Peterson (1928)  
 (11) Diem (1971).

- a = seco  
 b = no identificada (Arizona)  
 c = totalmente comestible cocinada  
 d = fresca  
 e = semilla madura seca  
 f = semilla madura cruda  
 g = entero  
 h = cantalupo  
 i = enlatado  
 j = crudo  
 k = tostado

- l = del Pacífico y del Este  
 m = semigrasa, cruda  
 n = mezclados deshidratados  
 o = mora gral. fresca  
 p = sólo pierna cruda  
 q = picada (Bing.) Calif.  
 r = del Atlántico  
 s = todas las variedades  
 t = blanca seca  
 u = todas las muestras  
 v = blanco o amarillo

Tabla XIV. Valores promedio comparativos del contenido de minerales en Phormidium tenue silvestre y cultivado con los alimentos producidos en México (mg/100g, ps).

	Ca	Na	K	Fe	Cu
<u>Phormidium tenue</u> silvestre	1804.9	5570.0	452.4	525.4	5.0
<u>Phormidium tenue</u> cultivado	3741.4	4810.0	722.3	123.4	2.1
<u>Cereales:</u>					
Arroz	1.1	2.0	130.0	0.2	0.36
Cebada	55.0	3.0	158.0	4.5	3.60
Maíz amarillo	158.0	0.1	290.0	2.3	0.68
Trigo	58.0	2.0	340.0	0.9	0.72
<u>Leguminosas:</u>					
Alverjón	72.0	20.0	990.0	7.5	1.40
Frijol garbancillo	300.0	-	-	4.9	-
Frijol bayogordo	200.0	0.6	1350.0	5.7	0.86
Garbanzos	105.0	1.0	560.0	8.9	0.01
Habas	49.0	97.0	1229.0	7.3	0.86
Lentejas	74.0	62.0	887.0	5.8	0.04
Soya en grano	187.0	4.0	1900.0	8.3	1.20
<u>Frutas:</u>					
Manzanas	7.0	1.0	120.0	0.8	0.10
Melón	17.0	12.0	230.0	2.2	0.06
Naranjas	48.0	0.2	170.0	1.0	0.75
Piña	35.0	0.3	210.0	0.5	0.07
Plátano	13.0	10.0	348.0	2.3	0.16
<u>Carnes:</u>					
Res gorda c/hueso	8.0	70.0	333.0	2.6	-
Cerdo c/hueso	6.0	57.0	258.0	1.8	-
Pollo	14.0	75.0	343.0	1.5	0.27
<u>Pescados y Mariscos:</u>					
Acociles	3250.0	-	-	8.4	-
Bacalao (seco salado)	50.0	7200.0	80.0	3.6	0.47
Camarón	70.0	140.0	220.0	1.6	0.43
Charal seco	4005.0	-	-	-	-
Pescado fresco	70.0	373.0	1671.0	1.9	-
Pescado seco tipo charal	1840.0	-	-	1.8	-
<u>Varios:</u>					
Espinacas	66.0	75.0	467.0	4.4	0.20
Ajonjolí	728.0	-	-	9.5	-
Queso de cabra fresco	867.0	-	-	5.7	-
Huevo	54.0	130.0	-	2.5	0.22
Jamón cocido	9.0	2176.0	610.0	2.3	-
Leche de vaca	113.0	51.0	143.0	0.3	0.02
	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)

(1) Hernández *et al.* (1980)

(2) Olascoaga (1981)

cantidades poco importantes.

El hierro (525 y 123 mg/100g) de ambas algas se observó en alta concentración con respecto a los alimentos, en una proporción de 36 a 1620 veces mayor que todos los discutidos; en consecuencia estas algas pueden servir potencialmente como una fuente de hierro en la alimentación humana y animal.

El zinc (42 y 37 mg/100g) de ambas algas mostró una proporción mayor de 2.5 a 199 veces; en cobre (5 y 2.1 mg/100g) de 1.4 a 166 y en manganeso (12.2 y 41.2 mg/100g) de 2.2 a 1200, en comparación a todos los alimentos discutidos; con la excepción del ostión que fue 1.8 y 3.4 veces mayor en zinc y cobre respectivamente.

El P. tenue silvestre y cultivado presentó la mayor concentración de minerales, destacándose en calcio, sodio y hierro; es relativamente alto en magnesio, zinc, manganeso, cobre y cobalto y bajo en potasio, con respecto a las comparaciones ya discutidas.

#### TOXICIDAD NATURAL

La toxicidad natural de los alimentos está determinada por muchos factores, dentro de los cuales puede ser el extrínseco: condiciones medio ambientales (aire, suelo, agua, contaminación, accidentes o mecanismos naturales fortuitos) y el intrínseco como causas genéticas que determinan la constitución química del alimento (Coon, 1975).

Las sustancias tóxicas (de origen natural) son abundantes, dentro de las que interesan están el sodio, el potasio y los ele-

mentos traza cobre y manganeso (Coon, Op. cit.). La toxicidad del sodio y potasio es difícil definirla en especial para los humanos debido a las diferencias en sus hábitos alimentarios (poblacional o individual) y por otro lado las genéticas y, en consecuencia pueden ser o no sensibles a la toxicidad. Al parecer 25 g de cloruro de potasio por día produce toxicidad aguda y dosis más pequeñas causan diarreas (Meneel y Battarbee, 1978). La toxicidad aguda con cloruro de sodio (35 a 40 g por día) puede producir edema visible en el hombre adulto sano (Meneeley y Battarbee, Op. cit.). Los elementos traza más tóxicos son el manganeso y cobre. En los experimentos realizados en ratas alimentadas con 1000 a 2000 ppm de manganeso, el crecimiento se vio afectado, y en gallinas jóvenes con 4800 ppm, resultó altamente tóxico (Underwood, 1977); cerdos alimentados con dosis de 250 a 700 ppm de cobre presentaron fuerte toxicosis (Underwood, Op. cit.) El hierro (Finch, 1978), el zinc (Underwood, Op. cit.) y el cobalto (Underwood, 1978) no tienen efectos tóxicos o en todo caso presentan baja toxicidad.

Finalmente el sodio (1.80 y 3.74 mg), el potasio (0.45 y 0.72 mg/100g), el cobre (50.2 y 21.2 mg/Kg) y el manganeso (122.9 y 412 mg/Kg) en ambas algas están lejos de ser tóxicas. Sin embargo esto dependerá de la cantidad de alga que sea consumida.

Los conocimientos acerca del consumo de las algas comestibles continentales, referidas en obras antiguas mexicanas, ya señalaban: "...comestible solo en pequeña cantidad y ésto en vez de sal o condimento del maíz" (Ortega, Op. cit.), así pues los aztecas no estaban tan lejos del concepto de la dieta equilibrada, ya que

si el Phormidium tenue lo hubieran consumido en cantidades elevadas, éste podría haberles resultado tóxico. El empleo de la dosificación entre los mexicas, queda pues como un antecedente en el manejo apropiado de las algas en la alimentación.

Con base en que P. tenue primeramente fue consumido por una cultura antigua, en segundo lugar por contener éste, nutrimentos minerales en cantidades significativas, se definen las características por las cuales el P. tenue puede ser considerado como alimento, sin embargo faltaría aún por realizar el análisis toxicológico que determinaría en su caso todas las particularidades que debe reunir para considerarlo como alimento en la actualidad, Bourges (1982).

## CONCLUSIONES

Siendo la composición promedio de minerales en Phormidium tenue silvestre y cultivado la siguiente (g/100g y mg/Kg):

Algas	Ca (g)	Mg (g)	Na (g)	K (g)	Fe (g)	Zn (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)	Co (mg)
<u>P. tenue</u> silvestre	1.80	0.79	5.57	0.45	0.52	426.8	50.2	122.9	17.1
<u>P. tenue</u> cultivado	3.74	0.84	4.81	0.72	0.12	372.1	21.2	412.1	10.2

Se concluye que P. tenue silvestre no presentó diferencia marcada (0.04-0.23 g/100g y 3.0-5.7 mg/Kg) para los meses de agosto y septiembre; en el P. tenue cultivado hay una influencia en la edad del cultivo con un descenso en la concentración a las 30 semanas de incubación. El cultivo joven (15 semanas) presenta las mayores concentraciones de la generalidad de elementos analizados.

En la comparación promedio entre P. tenue silvestre y el cultivado se encontraron diferencias poco marcadas en las concentraciones de los minerales magnesio, sodio, potasio, fierro y cobalto (0.05-0.076 g/100g y 6.9 mg/Kg), y diferencias marcadas en calcio (1.94 g/100g), zinc (54.7 mg/Kg), cobre (29 mg/Kg) y manganeso (289.2 mg/Kg).

La hipótesis planteada sobre la alta cantidad de minerales con base en el análisis comparativo de cenizas en la misma especie, se confirma en este estudio, por la elevada concentración de minerales encontradas.

Bajo condiciones técnicas establecidas, el alga cultivada y silvestre, pueden servir como una fuente de minerales.

En ambas algas se destacan las altas concentraciones de calcio, hierro, sodio y manganeso; relativamente altas magnesio, zinc, cobre y cobalto y bajas en potasio, sin llegar a cantidades traza, en comparación con otras algas, fanerógamas acuáticas y alimentos comunes.

Los minerales de ambas algas son substancialmente importantes en la nutrición humana o animal, destacándose el calcio y el hierro; los cuales pueden servir potencialmente para resolver problemas de deficiencias.

P. tenue silvestre y cultivado no presenta toxicidad natural en los minerales sodio, potasio, cobre y manganeso.

El P. tenue puede ser considerado como alimento, sin embargo falta realizar el análisis toxicológico, que determinaría en su caso todas las características actuales de alimento.

Dadas las necesidades de incrementar en la actualidad los recursos alimentarios con un contenido adecuado, se ha desarrollado por un lado el rescate de antiguos alimentos y propiciado el auge de numerosas investigaciones sobre nutrición y lo referente a los cultivos algales (seminatural, artificial, etc.). Por otro lado nuevas tecnologías de otros países en la industria de las algas se han desarrollado, todo esto lleva como consecuencia que material biótico como Phormidium tenue puede ser utilizado y proyectado su aprovechamiento destinándolo a la nutrición humana o animal en un futuro próximo en nuestro país.

## BIBLIOGRAFIA

- Aldave Pajares, A. 1969. Cushuro, algas azul-verde utilizadas como alimento en la región alto-andina peruana. Bol. Soc. Bot. La Libertad, Perú 1(2): 1-43.
- Allen, M.M. y R.Y. Stanier. 1968. Selective isolation of blue-green algae from water and soil. J. Gen. Microbiol. 51: 203-209, 5 tabs.
- Association of Official Analytical Chemist. 1980. Official Methods of Analysis, 13 ed. (W. Horwitz Ed.), Washington, D.C.
- Avila, E. y M. Cuca. 1974. Efecto del alga Spirulina geitleri sobre la pigmentación de la yema de huevo. Téc. Pec. Méx. 26: 47, 48, 2 tabs.
- Bezares Sansores, A., C. Arteaga y E. Avila. 1976. Valor pigmentante y nutritivo de alga espirulina en dietas para gallinas en postura. Téc. Pecu. Méx. 30:30-34, 4 tabs.
- Bourges, H. 1982. Nutrición y alimentos: su problemática en México. 1a.ed. C.E.C.S.A., México, 100 p., 3 figs., 13 tabs.
- Bourges, H., A. Sotomayor, E. Mendoza y A. Chávez. 1971. Utilization of the alga Spirulina as a protein source. Nutr. Rep. In. 4(1): 31-43, 5 tabs.
- Calderón Cortés, J.F., H. Merino Zúñiga y D. Barragán Meza. 1976. Valor alimenticio del alga espirulina (Spirulina geitleri) para rumiantes. Téc. Pec. Méx. 31: 42-46, 4 tabs.
- Chamorro Cevallos, G. 1980. Estudio toxicológico del alga Spirulina, planta piloto productora de proteínas (Spirulina de Sosa Texcoco, S.A.) Reporte UF/MEX/78/048, Org. Nac. Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), 177 pp., 12 figs., 72 tabs.
- Chapman, J.V. 1970. Seaweeds and their uses. 2a. ed. Methuen and

- Co Ltd. London, 304 pp., 56 figs., 66 tabs.
- Chatfield, C. 1955. Tabla de composición de alimentos (Minerales y vitaminas) para uso internacional. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma, 118 pp.
- Chimal, A. y M.T. Cruz de Palacios. 1975. Estudios preliminares sobre los efectos de las variaciones gamma en Spirulina platensis. Mem. II Reun. Nac. Soc. Mex. Gen. pp. 258-263, 2 figs.
- Clément, C.G., C. Giddey y R. Menzi. 1967. Amino acid composition and nutritive value of the alga Spirulina maxima. J. Sci. Fd. Agric. 18(11): 497-501, 5 figs., 4 tabs.
- Combs, G.F. 1952. Algae (Chlorella) as a source of nutrients for the chick. Science 116: 453, 454.
- Contreras, A., D.C. Herbert, B.G. Grubbs y I.L. Cameron. 1979. Blue-green alga, Spirulina, as the sole dietary source of protein in sexually maturing rats. Nutr. Rep. In. 19(6): 749-763, 5 figs., 5 tabs.
- Coon, J.M. 1975. Natural toxicants in foods. J. Am. Diet. A. 67: 213-218.
- Cravioto, R.O., G. Massieu, J. Guzmán y J. Calvo de la Torre. 1951. Composición de alimentos mexicanos. Ciencia (Méx.) 11(5,6): 129-155, tab.
- Cruz de Palacios, M.T. y A. Chimal. 1975. Efecto de diferentes pruebas citoquímicas principalmente adnasa y ribonucleasa en células de Spirulina platensis. Mem. II Reun. Nac. Soc. Mex. Gen. pp. 264-277, 12 figs.
- David, M. 1963. Les saimures de la Vallée de Texcoco (México). Tesis Universidad Aix-Marseille.

- Diem, K. 1971. Tablas Científicas. 6a. ed. (CIBA-GEIGY, ed.), CIBA-GEIGY, S.A., Basilea, 783 pp.
- Durand Chastel, H. y G. Clément. 1975. Spirulina algae: food for tomorrow. Proc. IX Int. Congr. Nutrition, México 3: 83-90.
- Farrar, W.V. 1966. Tecuitlatl; a glimpse of Aztec food Technology. Nature 211(5047): 341, 342.
- Feeley, R.M. y B.K. Watt. 1970. Nutritive values of food distributed under USDA Food Assistance Programs. J. Am. Diet. A. 57: 528-547, 2 tabs.
- Feeley, R.M., P.E. Criner, E.W. Murphy y E.W. Toepfer. 1972. Major mineral elements in dairy products. J. Am. Diet. A. 61: 505-510, 3 tabs.
- Finch, C.A. 1978. Fierro. In: Conocimientos actuales de nutrición. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); Archivos Latinoamericanos de Nutrición (eds.), Guatemala. pp. 282-292.
- Forin, M.C., B. Maume y C. Baron. 1975. Présence de squalene et de stérols dans une Cyanophycée: la Spiruline (Spirulina dev.), C.R. Acad. Sc. Paris sér. D. 281: 195-198, 3 figs.
- Fowden. L. 1951. Amino acids of certain algae. Nature 167: 1030-1031.
- González Arroyo, S., R.M. Luna Lagunares, R. Hernández Velarde, P. Soriano Lucio y J. Torres Gallardo. 1976. Estudio preliminar de la contaminación por bacterias en un cultivo semi-natural de Spirulina. Sal. públ. Méx. 18(4): 705-710, 3 figs., 2 tabs.
- Halperin, D.R. 1963. Colección de cultivos de cianofíceas. Darwiniana 12(4): 559-567, 1 lám.

- Halperin, D.R. 1967. Cianofíceas marinas de Puerto Deseado (provincia de Santa Cruz, Argentina), II. Darwiniana 14(2,3): 273-354, 14 láms.
- Halperin, D.R. 1971. Las algas en la alimentación humana. Contrib. Téc. Centro Inves. Biol. Mar. (Buenos Aires) 10: 1-39, 6 tabs.
- Halperin, D.R., G. Zulpa de Caire y M.C. Zaccaro de Mule. 1974. Contenido proteico de Aphanotece stagnina (Sprengel) A. Braun (Cyanophyta). Physis, B. 33(87): 159-164, 1 fig.
- Hankin, J.H., M.D.S. Margen y N.F. Goldsmith. 1970. Contribution of hard water to calcium and magnesium intakes of adults. J.Am. Diet. A. 56: 212-224, 2 tabs.
- Hart, E.B., H.B. Steenbock, J. Waddell y C.A. Elvhjem. 1928. Iron in nutrition VII. Copper as supplement to iron for hemoglobin building in the rat. J. Biol. Chem. 77: 797-812.
- Harvey, W.H. 1858. Nereis Boreali Americana: or contribution to a history of the marine algae of North America III. Chlorospermae. 10: 1-40, láms. 37-50. Smithsonian Institution Contrib. Knowledge, Washington, D.C.
- Hernández, M., A. Chávez y H. Bourges. 1980. Valor nutritivo de los alimentos mexicanos: tablas de uso práctico. Publ. de la División de Nutrición L-12, Instituto Nacional de la Nutrición, 8a. ed., México.
- Hundley, J.M., R.B. Ing y R.W. Krauss. 1956. Algae as sources of lysine and threonine in supplementing wheat and bread diets. Science 124:536-537.
- Hurley, L.S. 1978. Manganeso y otros oligoelementos. In: Conocimientos actuales en nutrición. Instituto de Nutrición de

- Centro América y Panamá (INCAP); Archivos Latinoamericanos de Nutrición (eds.) Guatemala, pp. 346-357.
- Institut Français du Pétrole. 1967. Una nueva alga alimenticia. Imprimeire Keller, Paris, 9 pp., fotos, esquemas.
- Jassey, Y., J.P. Belot y C. Baron. 1971. Etude comparée des acides nucléiques de deux especes de spirulines: Spirulina platensis Geitler et S. maxima Geitler, C.R. Acad. Sc. Paris sér. D. 273: 2363-2368, 1 fig., 3 tabs.
- Johnston, H.W. 1966. The biological and economic importance of the algae, II. Tuatara 14: 30-63, 1 fig., 4 tabs.
- Krauss, R.W. 1962. Mass culture of algae for food and other organic compounds. Amer. J. Bot. 49(4): 425-435, 2 figs., 5 tabs.
- Linkswiler, H.M. 1978. Calcio. In: Conocimientos actuales en nutrición. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); Archivos Latinoamericanos de Nutrición (eds.), Guatemala, pp. 235-246.
- Meiners, C., M.G. Crews y S.J. Ritchey. 1982. Yield of chicken parts: proximate composition and mineral content. J. Am. Diet. A. 81: 435-439, 4 tabs.
- Mendoza, M.E., G.A. Sotomayor, H. Bourges, y A. Chávez. 1971. Aspectos nutricionales de una proteína unicelular. Rev. Tecnol. Aliment. (Méx.) 6:22-30, 2 cuadros, 4 tabs.
- Mendoza de Flores, C. y J.A. Pino. 1964. Efecto pigmentante de 3 fuentes de xantofilas sobre la yema de huevo. Téc. Pec. Méx. 3: 20-23, 2 tabs.
- Meneely, G.R. y H.D. Battarbee. 1978. Sodio y Potasio. In: Conocimientos actuales en nutrición. Instituto de Nutrición de

- Centro América y Panamá; Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Guatemala, pp. 261-268.
- Mertz, W. 1980. Mineral elements: new perspectives. J. Am. Diet. A. 77: 258-263, 4 tabs.
- Morgan, K.C., J.L. C. Wright y F.J. Simpson. 1980. Review of chemical constituents of the red alga Palmaria palmata (Dulse). Econ. Botan. 34(1): 27-50, 12 tabs.
- Murphy, E.W., B.W. Willis y B.K. Watt. 1975. Provisional tables on the zinc content of foods. J. Am. Diet. A. 66: 345-355, 3 tabs.
- Myers, J. 1962. Laboratory Cultures. In: Lewin, R.A. (Ed.). Physiology and Biochemistry of Algae. Academic Press Inc., London, pp. 603-615, 2 figs.
- Nadin, A.O. 1979. Estudio de la composición química de una especie agarífera del litoral argentino, Ahnfeltia plicata (Huds.) Fries. (Rhodophyta). Contrib. Téc. Centro Inves. Biol. Mar. (Buenos Aires) 35: 5-27, 1 fig., 9 tabs., 2 gráfs.
- O'Dell, B.L. 1978. Cobre. In: Conocimientos actuales en nutrición. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá; Archivos Latinoamericanos de Nutrición, (eds.), Guatemala. pp. 305-311.
- Olascoaga, J.Q. 1981. Tablas de valores nutritivos para cálculos dietéticos. Francisco Méndez Cervantes (Ed.), México, pp. 1-65.
- Ortega, M.M. 1972a. Estudio de las algas comestibles del Valle de México I. Rev. Lat-amer. Microbiol. 14: 85-97, 19 figs.
- Ortega, M.M. 1972b. Study of the edible algae of the Valley of Mexico. Bot. Mar. 15: 162-166, 11 figs.

- Pennington, J.T. y D.H. Calloway. 1973. Copper content of foods. J. Am. Diet. A. 63: 143-153, 1 tab.
- Robles Cabrera, A., J. Soriano Torres, A.S. Shimada. 1975. El valor nutritivo del alga espirulina (Spirulina geitleri) para el cerdo de abasto. Téc. Pec. Méx. 32: 46-52, 7 tabs.
- Rzedowski, J. 1957. Algunas asociaciones vegetales de los terrenos del Lago de Texcoco. Bol. Soc. Bot. Méx. 21: 19-33.
- Salcedo Olavarrieta, N., M.M. Ortega, M.E. Marín García y C. Zavala Moreno. 1978a. Estudio de las algas comestibles del Valle de México II, análisis químico comparativo. Rev. Lat.-amer. Microbiol. 20: 211-214, 2 tabs.
- Salcedo Olavarrieta, N., M.M. Ortega, M.E. Marín García y C. Zavala Moreno. 1978b. Estudio de las algas comestibles del Valle de México III, análisis comparativo de aminoácidos. Rev. Lat.-amer. Microbiol. 20: 215-217, 1 fig., 2 tabs.
- Sandstead, H.H. 1978. Zinc. In: Conocimientos actuales en Nutrición. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); Archivos Latinoamericanos de Nutrición (eds.), Guatemala, pp. 293-304.
- Santillán, C. 1971. Las algas microscópicas como una fuente de alimentos para animales y humanos. Rev. Tecnol. Aliment. (Méx.) 6(5): 15-36, 12 figs.
- Santillán, C. 1982. Mass production of Spirulina. Experientia 38(1): 40-43, 2 figs., 2 tabs.
- Scott, G.T. 1943. The mineral composition of Chlorella pyrenoidosa grown in culture media containing varying concentrations of calcium, magnesium, potassium and sodium. J. Cell. Comp. Physl. 21: 327-338, 5 figs., 2 tabs.

- Scrimshaw, N.S. y V.R. Young. 1976. Las necesidades de la nutrición humana. Sci. Am. 2: 31-46, ilus.
- Silerio, F., C. Mendoza de Flores y E. Avila. 1976. Evaluación del alga espirulina (Spirulina geitleri) como fuente de pigmento en dietas para pollos de engorda. Téc. Pec. Méx. 31: 47-54, 6 tabs.
- Skinner, J.T. y J.H. Peterson. 1928. The iron and manganese content of feeding stuffs. J. Biol. Chem. 79: 679-687, 3 tabs.
- Sosa Texcoco, S.A. 1978. Spirulina alga natural product. Chemical Analysis, Sosa Texcoco, Ed. 4.8, México. (Informe).
- Spoehr, H.A. y H.W. Milner. 1949. The chemical composition of Chlorella; effect of environmental condition. Plant. Physl. 24: 120-149, 5 figs. 8 tabs.
- Tamiya, H., T. Inamura, K. Shibata, E. Hase y T. Nihei. 1953. Correlation between photosynthesis and light-dependent metabolism in the growth of Chlorella. Biochim. Biophys. Acta 12: 23-40.
- Thong-Tan, Y. 1970. Composition and nutritive value of some grasses, plants and aquatic weeds tested as diets. J. Fish. Biol. 2: 253-257, 1 fig., 3 tabs.
- Todd, W.R., C.A. Elvehjem y E.B. Hart. 1934. Zinc the nutrition of the rat. Am. J. Physl. 107: 146-156.
- Underwood, E.J. 1977. Trace elements in human and animal nutrition. 4a. ed. Academic Press Inc., New York, 545 pp., 9 figs., 60 tabs.
- Underwood, E.J. 1978. Cobalto. In: Conocimientos actuales en nutrición. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); Archivos Latinoamericanos de Nutrición (eds.), Guatemala, pp. 310-326.

- Whitaker, T.M. y M.G. Richardson. 1980. Morphology and chemical composition of natural population of an ice-associated antarctic diatom Navicula glacei. J. Phycol. 16: 250-257, 4 figs., 3 tabs.
- Wiessner, W. 1962. Inorganic Micronutrients. In: Lewin, R.A. (Ed.). Physiology and Biochemistry of Algae. Academic Press, Inc., London, pp. 267-286.
- Wong, N.P., D.E. Lacroix y J.A. Alford. 1978. Mineral content of dairy products. J. Am. Diet. A. 72: 608-611, 3 tabs.
- Zook, G.E. y J. Lehmann. 1968. Mineral composition of fruit. J. Am. Diet. A. 52: 225-231, 1 tab.