

ANÁLISIS QUÍMICO DE METALES PESADOS (Hg, Pb, Cd, As, Cr y Sr) EN ALGAS MARINAS DE BAJA CALIFORNIA

GUADALUPE DE LA LANZA*
MARTHA M. ORTEGA*
JOSÉ LUIS LAPARRA**
ROSA MARINA CARRILLO*
JOSÉ LUIS GODÍNEZ*

RESUMEN

Con el objeto de apoyar la utilización de las algas marinas de Punta Descanso, Isla Santa Margarita, B.C.S. como alimento animal, se realizó el análisis de seis metales pesados (Hg, Pb, Cd, As, Cr y Sr) de dos muestras de algas marinas, la primera constituida únicamente por *Ulva lactuca* y la segunda por una mezcla de algas colectadas de las arribazones del lugar, constituida por *U. lactuca*, *Spyridia filamentosa*, *Enteromorpha clathrata*, *Padina durvillaeii*, *Colpomenia sinuosa*, *Hydroclathrus clathratus*, *Codium magnum* y *C. cuneatum*. En la evaluación del Hg se utilizó la activación de neutrones y absorción atómica de vapor frío y los metales restantes se analizaron mediante absorción atómica, con modificación del método. Se analizan los contenidos de los seis metales pesados con base en los máximos de tolerancia en dietas animales; como resultado de lo anterior se determinó que las concentraciones de metales no presentan niveles de toxicidad, lo cual apoya su uso en la alimentación de animales domésticos.

Palabras clave: algas marinas, metales pesados, toxicología.

ABSTRACT

To support the potential utilization of the marine algae of Punta Descanso, Isla Santa Margarita, B.C.S., as animal food, an analysis of six heavy metals (Hg, Pb, Cd, As, Cr y Sr) in two algae samples was made. The first sample was *Ulva lactuca*, and the second was a mixture of *U. lactuca*, *Spyridia filamentosa*, *Enteromorpha clathrata*, *Padina durvillaeii*, *Colpomenia sinuosa*, *Hydroclathrus clathratus*, *Codium magnum* and *C. cuneatum*. Both samples were collected in arrival zones. Neutron activation and cold vapour atomic absorption were used for the Hg analysis, and the rest of trace metals were analyzed with a modified method of atomic absorption. The content of the six heavy metals was analyzed with reference to the maxima of tolerance in animal diets. The results showed no toxicity at the relatively low concentration of metals in the algae samples, indicating its suitability as food for domestic animals.

Key words: marine algae, heavy metals, toxicology.

* Instituto de Biología, UNAM, Apdo. Postal 70-233, 04510 México, D. F.

** Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Cd. Universitaria, 04510 México, D. F.

A la memoria de la ficóloga mexicana María Luisa Chávez.

INTRODUCCIÓN

La península de Baja California, por su ubicación geográfica y la temperatura de sus aguas, tiene una extraordinaria riqueza de algas marinas. La costa occidental de Baja California, desde Punta Descanso hasta la Bahía Magdalena, incluyendo las islas adyacentes, cuenta con los mayores volúmenes de algas de valor comercial en el país (Guzmán del Prío *et al.*, 1971). Además, en ciertas épocas del año, algunas algas son arrojadas a la playa (arribazones) en forma muy abundante y hasta el momento no se les ha dado algún uso. Por otro lado, actualmente son escasos los trabajos de biología, ecología y química que se han realizado sobre ellas, por lo que abordar los temas de explotación y utilización de las algas de esta zona implica realizar mayores estudios. En el siglo pasado aparece el interés de la evaluación química de las algas mexicanas: Mendoza y Herrera (1868) determinaron algunos componentes químicos de *Fucus vesiculosus*; en el presente siglo Lechuga (1919) realizó el análisis químico del *Sargassum vulgare*; Hernández-Serrano (1946) cuantificó el contenido de agar de *Gelidium cartilagineum*; Delgadillo (1966) llevó a cabo un estudio preliminar de algunos compuestos orgánicos en *Galaxaura rugosa* y *Enteromorpha intestinalis*; Huerta y Chávez (1968) determinaron la concentración del contenido de cianocobalamina, con el objeto de saber si las algas marinas del litoral mexicano pudieran servir como fuente de extracción de vitamina B₁₂; Piña *et al.* (1983) estimaron carbohidratos, aminoácidos, fibra cruda y nitrógeno total, así como los macroelementos (Ca, Mg, Fe) en *Ulva fasciata*.

Por otra parte, a la presente contribución precede el trabajo de Chávez y Ortega (*inéd.*) que presentan el análisis químico proximal, así como el contenido de algunos elementos químicos (Tabla 1), de las algas marinas de Punta Arena, en donde se observan concentraciones de minerales, carbohidratos y lípidos semejantes a los valores de los cereales.

Si bien pareciera que los estudios de bromatología en algas de México son escasos, los de toxicología son casi nulos, pues sólo se conoce hasta donde es de nuestro conocimiento la investigación realizada por Santillán (1979), quien determinó la concentración de hidrocarburos, metales pesados y residuos de plaguicidas en *Spirulina geitleri*, un alga dulceacuícola. Esto es importante ya que en los últimos años ha aumentado notablemente la presencia de diversos contaminantes metálicos en alimentos (FAO/OMS, 1972), lo que tiene como consecuencia un incremento en las investigaciones sobre toxicología de alimentos que tratan de resolver problemas tales como distinguir con precisión las proporciones relativas de las diferentes formas de contaminantes y definir el grado de concentración en el cual los efectos de exposición de metales pesados no producen efectos letales (Huisingsh y Huisingsh, 1974).

Dado lo anterior la presente contribución tiene como objeto cuantificar los metales pesados en algas marinas de la Isla Santa Margarita, B.C.S. e interpretar sus niveles de toxicidad como un punto importante que apoyará el aprovechamiento futuro de estas algas, como alimento para animales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En agosto de 1979, se llevó a cabo una recolección de material algológico en Punta arena, Isla Santa Margarita, Baja California Sur (Fig. 1). Se recolectaron a mano una mezcla de algas arrojadas por el oleaje (arribazones) y constituida por ocho especies diferentes: *Spyridia filamentosa*, *Padina durvillaeii*, *Colpomenia sinuosa*, *Hydroclathrus clathratus*, *Ulva lactuca*, *Enteromorpha clathrata*, *Codium magnum* y *C. cuneatum*. Además se seleccionó una muestra de *U. lactuca* dado el interés particular por sus antecedentes de uso como forraje.

Se secaron al sol a temperatura ambiental eliminando previamente pequeños animales y arena. Posteriormente se transportaron a la ciudad de México en bolsas de polietileno, continuándose la deshidratación por tres días en una secadora de manufactura local a 50°C. Una vez alcanzado el peso constante, se molieron por separado ambas muestras, las cuales fueron colocadas en bolsas de papel para un último secado en horno al vacío modelo Philco No. 10.

Debido a las características de los elementos aquí analizados (mercurio, plomo, cadmio, arsénico, cromo y estroncio), se llevaron a cabo diferentes técnicas de digestión y lectura.

Para la evaluación de mercurio se empleó la absorción atómica de vapor frío (Environmental Protection Agency, 1979) y de activación de Neutrones, con los siguientes pasos:

En frascos de digestión se transfirieron 2 g de cada muestra, adicionando 1 ml de ácido sulfúrico y 15 ml de ácido nítrico, digiriéndose lentamente; cuando la mayoría de la materia orgánica fue destruida, cuidadosamente se agregaron 0.5 g de permanganato de potasio, continuando hasta que el óxido de manganeso precipitara y permaneciera el color.

Antes de cuantificar, se le agregó a las muestras 1 ml de clorhidrato de hidroxilamina y unas gotas de cloruro estanoso para liberar el mercurio.

Se evaluó en un aparato de absorción atómica Perkin-Elmer 460 con un aditamento a la técnica de vapor frío.

El análisis químico de los metales plomo, cadmio, arsénico, cromo y estroncio, fue a través de una técnica de digestión propuesta por *Association of Official Agricultural Chemists, AOAC (1970)* de la siguiente forma:

En crisoles de porcelana se colocaron muestras de 5 g más 1 g de óxido de magnesio, este último dispersado en la parte superficial para evitar que los elementos por cuantificar se volatilizaran. Posteriormente se incineraron en una mufla durante 24 h a una temperatura de 450°C-500°C, se transfirieron las cenizas cuantitativamente a un vaso de precipitado de 100 ml y se le agregaron 4 ml de ácido clorhídrico (1 + 3) y 1 ml de ácido nítrico; se colocaron en una parrilla hasta que se evaporaron aproximadamente a la mitad, finalmente se filtró sobre un matraz aforado de 50 ml. Posteriormente se cuantificaron en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 2380; para la estimación de arsénico, se utilizó un dispositivo "horno de grafito" (HGA-400 Graphite Furnace Perkin-Elmer), con la finalidad de evitar una volatilización del elemento. En la preparación de testigos, así como de soluciones madres, se empleó el tritisol marca Merck.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestra el contenido promedio de metales en *Ulva lactuca* y la mezcla de algas; la Tabla 3 señala la comparación del contenido de metales en las algas marinas y fanerógamas acuáticas. La Tabla 4 revela la comparación entre el contenido de metales de las algas en estudio y los niveles máximos de tolerancia de minerales dentro de la dieta de animales domésticos.

Mercurio. El mercurio se encuentra distribuido normalmente en la naturaleza, a nivel de huellas, tanto en la litosfera como en la hidrosfera, en cantidades que oscilan entre 0.001-1 ppm (Hammond, 1971). Sin embargo, estas cantidades pueden incrementarse por desechos industriales, y al ser eliminado hacia el mar tiende a permanecer en los sedimentos profundos; no obstante, se ha comprobado que el mercurio inorgánico puede ser metilado por microorganismos, dando lugar a compuestos como metil o dimetil mercurio que son formas tóxicas, de tal forma que esta conversión se considera la clave del aumento de este elemento en el ecosistema acuático (Jensen y Jernelöv, 1969). Este aumento es detectable en organismos que asimilan este metal en sus tejidos, lo que ha sido demostrado no solamente en peces, sino en algunas marinas que llegan a contener una concentración hasta 100 veces mayor de este elemento, que la que se encuentra en las aguas circundantes (Goldwater, 1971).

Tanto en la mezcla de algas como en *Ulva lactuca* no se detectó mercurio aun por el método de activación de neutrones. Los valores encontrados fueron considerados pobremente detectables, inferiores a nanogramos.

La tabla 3 muestra a *Undaria* spp. con cantidades de 0.12 ppm, y a *Spirulina geitleri*, explotada dentro de la industria alimentaria y cuyo contenido de mercurio es de 0.2 ppm. A pesar de esta escasa información, se especula que las algas no tienden a acumular este elemento. Sin embargo, esto no puede asegurarse, en vista de que es necesario tomar en cuenta para el análisis, las propiedades físicas del mercurio, pues es un elemento que a temperaturas mayores de 60°C se volatiliza fácilmente, por lo tanto, pudo ser que durante el manejo de las muestras, éste se haya perdido, o bien, que las técnicas de deshidratación utilizadas no hayan sido las correctas. Pillay *et al.* (1971) informan que el mercurio se pierde cuando las muestras biológicas han sido deshidratadas tanto a bajas como a altas temperaturas (menores de 10°C y mayores de 30°C).

Plomo. Las concentraciones de plomo en las aguas superficiales del hemisferio Norte son de 0.07 ug/kg (Chow y Patterson, 1966), a su vez las algas, al igual que otros organismos marinos, son propensos a asimilar fácilmente el plomo, por ser un elemento que tiene gran afinidad con el azufre y particularmente con el grupo sulfhidrilo de las proteínas. En recientes investigaciones se ha demostrado que las cantidades de plomo contenidas en dichos organismos dependen de las cantidades disueltas en el agua (Patterson, 1974).

El aumento de plomo en el mar se debe principalmente a los desechos de las industrias petroquímicas, y a la combustión de los automóviles en las zonas costeras; es por ello que, en zonas industrializadas, se observa un incremento de dicho elemento (Furr *et al.*, 1974).

Las cantidades evaluadas en *Ulva lactuca* fueron 5.9 ppm y para la mezcla de algas fueron de 1.19 ppm (Tabla 2). De estos resultados se desprende lo siguiente:

U. lactuca es una especie muy estudiada con fines de utilización dentro de la industria de los alimentos; no obstante, son escasos los trabajos que se han hecho sobre el contenido de elementos huella en los que se pueda así apoyar una discusión. Se sabe que acumula la mayoría de los elementos disueltos en el agua. Prosi (1979) menciona que las concentraciones de plomo en las algas marinas son de 2-3 ppm, con un mínimo de 0.5 ppm; sin embargo, los niveles máximos que se han registrado son de 18 ppm, precisamente en *U. lactuca* (Tabla 3); de acuerdo con esto y a diferencia de otras algas, ésta acumula mayor cantidad de plomo.

Por lo que respecta a la mezcla de algas, es importante señalar que se trata de una muestra integrada por varias especies que ni siquiera pertenecen al mismo grupo. En una mezcla conformada por algas rodofíceas, feofíceas y clorofíceas, las cuales pueden asimilar de forma distinta el plomo o bien tener en conjunto un efecto inhibitorio sobre la acumulación de éste, como lo señalan los trabajos de Tanaka y Stava (1979), quienes observaron que en aquellas algas que tienen polisacáridos que son carragenos y fucoides, disminuía la cantidad de plomo con respecto a otras algas que no los tuvieran; según esto la mezcla de algas podría disminuir su contenido por la presencia de las algas rodofíceas.

A pesar de lo anterior, al observar la Tabla 3 se encuentra que en la mayoría de las algas feofíceas, como *Pelvetia canaliculata*, *Fucus serratus* y *F. vesiculosus*, las concentraciones son mayores, inclusive, que los niveles propuestos por Prosi (1979).

Otro aspecto importante de discutir es si la cantidad de plomo en el agua afecta la concentración encontrada en las algas. Muchos autores afirman que las macroalgas marinas son indicadoras de contaminación. Al revisar la Tabla 3 se observa que *Undaria* spp. tiene una concentración de 8.2 ppm, la cual fue evaluada por Furr *et al.* (1974), a partir de una recolección en una región contaminada. La concentración de la mezcla de algas fue 8 veces menor que en *Undaria* spp. Prosi (1979) evaluó en *Ulva lactuca* un contenido de plomo tres veces mayor que la concentración aquí registrada en la misma especie, lo cual denota la posibilidad de concentrar dicho elemento, según la región.

En la Tabla 4 se muestran los máximos de tolerancia de elementos traza en la dieta de animales domésticos y se comparan con las algas de estudio, se observa que el plomo puede ser aceptado hasta 30 ppm, de tal forma que las concentraciones evaluadas en las algas marinas de este estudio no sobrepasan esta última cantidad.

Cadmio. El cadmio es un elemento tóxico, lo cual ha motivado el estudio de su concentración en las especies marinas. Su contenido con el agua de mar es de 0.01 ppm en la superficie y 0.07 ppm a mayor profundidad (Boyle *et al.*, 1976). Al igual que los metales anteriores, este elemento es considerado acumulativo en diferentes organismos; además, cabe destacar que este metal es muy afín al zinc, y se halla asociado a éste en la naturaleza en relación 1: 100-1: 200 (FAO/OMS, 1972). Sin embargo, parece ser que el zinc proporciona cierta protección contra los efectos tóxicos del cadmio (Echegaray, 1974).

Al analizar los resultados de la Tabla 2 se observa que *Ulva lactuca* presentó una concentración de 0.7 ppm y la mezcla de algas fue de 0.5 ppm. Las concentraciones de cadmio en las algas marinas según Prosi (1979), están dentro de los niveles de

1-2 ppm como se puede ver en la Tabla 3; sin embargo, es importante recordar que la cantidad de cualquier elemento encontrado en las algas, va a depender de la concentración disuelta en el agua donde habitan. A pesar de esto, al parecer el cadmio no es acumulativo en las algas marinas, ya que las otras algas rodofíceas fueron recolectadas en zonas contaminadas por ese metal.

Las concentraciones tanto en *Ulva lactuca* como la mezcla de algas, resultan ser hasta dos veces menores que en *Ascophyllum nodosum* que es una alga de consumo no sólo animal, sino también humano.

Por otra parte, en la mezcla de algas se observa que existe una concentración equivalente al nivel máximo tolerable de cadmio propuesto por National Research Council (1980) (Tabla 4). En el caso de *Ulva lactuca*, sobrepasa este nivel. Sin embargo, al ser comparada con otras algas de la Tabla 3, resulta tener bajo contenido de cadmio.

Hasta el momento no se ha discutido la posibilidad de que en las diferentes partes que constituyen a un alga, como son grampón, cauloide y filoide se acumulen en distinta magnitud los diferentes metales, como lo señala el trabajo de Young y Langille (1958), de tal forma que no se puede precisar si en la muestra evaluada, las partes que la integran hayan acumulado de distinta manera el metal.

Arsénico. El arsénico es un elemento tóxico; no obstante, se ha observado que los organismos marinos contienen aproximadamente 1-20 ppm, sin que éstos produzcan efectos tóxicos (Lunde, 1970b). En el mar este elemento se encuentra disuelto en cantidades de 2.1 ppm (Johnson y Pilson, 1972).

En el análisis realizado en *Ulva lactuca* (Tabla 2) no se detectó arsénico, lo cual puede indicar que fueron valores menores de 0.001 ppm de acuerdo con los cálculos de sensibilidad para el aparato que se utilizó. Lunde (1970a) encontró en *Ulva lactuca* 4 ppm de arsénico, y se supone que esta especie no asimila grandes cantidades de este elemento (Tabla 3).

En la mezcla de algas se evaluó una concentración de 0.8 ppm, diferencia mínima comparada con *Gigartina stellata*, *Chondrus crispus* o *Rhodymenia palmata* (Tabla 3); esta última es un alga comestible, cuyos valores en contenidos de arsénico llegan a ser hasta 10 veces más altos; a su vez, la mayoría de feofíceas (Tabla 3), presentan elevadas concentraciones, como en el caso de *Fucus serratus* (28 ppm) o bien *Ascophyllum nodosum* (91.7), aunque esta última fue colectada en una región contaminada.

Young y Langille (1958) muestran que las algas rodofíceas y feofíceas pueden asimilar el arsénico debido a la presencia de ciertos polisacáridos, como el agar, la fucoídina y la carragenina, los cuales pueden intercambiar el ion arsénico del sistema enzimático. De esta manera se explica el alto contenido de arsénico en estas algas.

En la Tabla 4 se observa que el nivel máximo tolerable de arsénico, dentro de las dietas de animales, es de 50 ppm, de tal forma que al comparar las concentraciones encontradas tanto en *Ulva lactuca*, como en la mezcla de algas, resultan estar muy por debajo de esta cantidad.

Cromo. La cantidad disuelta de cromo en el mar es de 0.08 ppm en la superficie y 0.15 ppm en las profundidades (Cranston y Murray, 1978). Estudios recientes han comprobado que las sales inorgánicas del cromo que se encuentran en los animales, contribuyen a mejorar la tolerancia de glucosa (Gurson y Saner, 1973); es por ello

que se puede considerar un elemento huella indispensable dentro de la fisiología animal; sin embargo, envenenamientos graves por este elemento se han registrado en los últimos años (Prosi, 1979), y al igual que otros metales ya mencionados, la toxicidad dependerá de la forma en que se encuentre en el medio. Por ejemplo: el trióxido de cromo, cromatos y dicromatos, son venenos plasmáticos (Pascale *et al.*, 1952).

El cromo evaluado en *U. lactuca* fue de 1.1 ppm y para la mezcla de algas 1.4 ppm (Tabla 2); los niveles no son diferentes entre ambas. Prosi (1979) menciona que las concentraciones promedio encontradas en las algas marinas en general son de 2-3 ppm con fluctuaciones de 1-13 ppm. Suponiendo aun que los contenidos entre ambas muestran no hayan sido significativos, no se puede aseverar que la asimilación de cromo sea semejante, pues al observar la Tabla 3, las algas feofíceas difieren en su concentración, aunque los valores están dentro de los niveles propuestos por Prosi (1979).

De acuerdo con esto y con los resultados obtenidos, se puede suponer que las algas marinas en general no son organismos que asimilan cromo en cantidades tóxicas.

La Tabla 4 muestra los niveles máximos de tolerancia de cromo tanto clorados como oxidados en dietas animales y se puede considerar que químicamente las algas de estudio no contienen un nivel tóxico.

Estroncio. Chow y Thompson (1955) encontraron valores de estroncio en el agua de mar de 4.7 ppm, pero estas concentraciones pueden elevarse debido a que en el mar se vierten los desechos de algunos reactores nucleares y el estroncio es un producto de fisión nuclear, por ello el interés de conocer el comportamiento del estroncio en los organismos marinos.

Por otro lado, es un elemento químicamente parecido al calcio y, ocasionalmente, puede sustituir a éste en procesos fisiológicos de tal forma que puede ser acumulado en los huesos de los animales. Cuando se sobrepasan ciertos niveles de concentración, resulta ser de consecuencias letales.

Analizando los resultados de la Tabla 2, el contenido de estroncio en *U. lactuca* fue de 185 ppm y en la mezcla de algas de 208 ppm. Con respecto a las concentraciones encontradas de los metales anteriores, éstas resultan ser elevadas; sin embargo, Bowen (1956) menciona que las algas marinas, a diferencia de otros organismos marinos, prefieren este elemento. Underwood (1971) señala que el estroncio es un metal que estimula el crecimiento de las plantas.

El estroncio, al igual que otros metales, es asimilado de distinta manera de una especie a otra, como la muestra la Tabla 3; *U. lactuca*, al ser un alga clorofíceas, presenta una tasa de acumulación distinta comparada con algas rodofíceas y feofíceas. En *U. lactuca*, *Ū. pertusa* y *Enteromorpha intestinalis* (Tabla 3), las concentraciones son diferentes.

Tanaka y Stava (1979) mencionan que las algas rodofíceas no acumulan gran cantidad de estroncio debido a la presencia de los glúcidos que forman la pared celular de éstas, los carragenos no permiten la absorción de estroncio; a diferencia de las algas feofíceas, el polisacárido constituyente de la pared celular tiene afinidad con este ion. Se desconoce hasta ahora algún trabajo que se refiera a la acumulación de estroncio en algas clorofíceas.

La mezcla de algas, como se mencionó anteriormente, está constituida por tres diferentes grupos: rodofíceas, feofíceas y clorofíceas; pudiera ser que aun cuando

existiera afinidad por el ion estroncio, las cantidades acumuladas por las rodofíceas y clorofíceas son menores que las de las feofíceas, de tal forma que se supone que la concentración de estroncio en la mezcla está compensada.

Los niveles máximos de tolerancia de este metal dentro de la dieta de animales domésticos es de 2000-3000 ppm; en gallinas ponedoras es de 30,000, y de acuerdo con esto, los valores químicos encontrados en las algas resultan ser aceptables para poder utilizarlas como alimento para animales.

Acorde con el análisis anterior, se considera que las algas estudiadas no presentan niveles superiores de metales pesados a los máximos tolerables en dietas para animales domésticos, lo cual apoya su uso en la alimentación de éstos. Particularmente, *Ulva lactuca* tiende a concentrar estroncio, sin que éste llegue a los niveles tóxicos.

Los metales pesados cuantificados en *U. lactuca* y en la mezcla de algas, señalan que el área de estudio no ha sido aparentemente impactada por este tipo de elementos, por un lado, y/o que las algas son organismos que presentan compuestos orgánicos que no les permiten asimilarlos, por otro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ing. José Enrique Ortega del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y al Ing. Raúl Belmont del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, todas las facilidades prestadas para el análisis del mercurio; a la Dra. Antonieta Dosal, Quím. Antonieta Aguirre, M.V.Z. Rogelio López y Sr. Salvador Hernández por su valiosa ayuda durante los análisis espectroscópicos.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 1970. *Official Methods of Analysis*, 9 ed., Washington.
- BLACK, W.A.P. y R.L. MITCHELL. 1952. Trace elements in the common brown algae and in sea water. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 30: 575-584.
- BOWEN, H.J.M. 1956. Strontium and barium in sea water and marine organisms. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 35: 451-460.
- BOYLE, E.A., F. SCLATER y J.M. EDMOND. 1976. On the marine geochemistry of cadmium. *Nature* 263: 42-44.
- CHÁVEZ, M.L. y M.M. ORTEGA. Estudio ficológico de las arribas de Isla Santa Margarita, B.C.S. (inéd.).
- CHOW, T.J. y T.G. THOMPSON. 1955. Flame photometric determination of strontium in seawater. *Ann. Chem.* 27(1): 18-21.
- CHOW, T.J. y C.C. PATTERSON. 1966. Concentration profiles of barium and lead in Atlantic water off Bermuda. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1: 397-400.
- CRANSTON, R.E. y J.W. MURRAY. 1978. Dissolved chromium species in seawater. *EOS (Amer. Geophys. Union, Trans.)* 59(9): 306. (Abstract).
- DELGADILLO, G.H. 1966. Estudio preliminar de algunos compuestos orgánicos en *Galaxaura rugosa* y *Enteromorpha intestinalis*. Tesis Prof., Fac. de Ciencias, UNAM, México, 26 p.
- ECHEGARAY, R.M. 1974. Contenido de algunos metales pesados en especies marinas peruanas (1). *Ing. Sanitaria, México (Asoc. Interamer. Ing. Sanitaria)* 27(4): 1-18.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 1979. *Methods for the chemical analysis of water and wastes*. Environmental monitoring and support, Laboratory office of research and development, Cincinnati.

- FAO/OMS. 1972. *Evaluación de diversos aditivos alimentarios y de los contaminantes mercurio, plomo y cadmio*. Informe del comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios, Ginebra, No. 16.
- FURR, A.K., F.V. KOSIKOWSKI, C.A. BACHE y D.J. LISK. 1974. Elemental analysis of protein-containing food materials from various sources. *J. Food Sci. (Chicago)* 39: 887-891.
- GOLDWATER, J.L. 1971. Mercury in the environment. *Sci. Amer.* 224(5): 15-21.
- GURSON, C.T. y G. SANER. 1973. Effects of chromium supplementation on growth in marasmic protein-calorie malnutrition. *Amer. J. Clin. Nutr.* 26: 988.
- GUZMÁN DEL PROO, S.A. S. DE LA CAMPA y J.L. GRANADOS. 1971. El sargazo gigante (*Microcystis pyrifera*) y su explotación en Baja California. *Revista Soc. Mex. Hist. Nat.* 32: 15-55.
- HAMMOND, A.L. 1971. Mercury in the environment: natural and human factors. *Science* 171: 788-789.
- HERNÁNDEZ-SERRANO, R.M. 1946. Contribución al estudio químico del alga rodoficea *Gelidium cartilagineum*. Tesis Prof., Fac. de Ciencias Químicas, UNAM, México, 48 p.
- HUERTA, L. y M.L. CHÁVEZ. (1966) 1968. Presencia de vitamina B₁₂ en algunas algas marinas de las costas de México. *Anales Esc. Nac. Ci. Biol.* 15: 9-22.
- HUISINGH, D. y J. HUISINGH. 1974. Factors influencing the toxicity of heavy metals in food. *Ecol. Food. Nutr.* 3: 263-272.
- JENSEN, S. y A. JERNELÖV. 1969. Biological methylation of mercury in aquatic organisms. *Nature* 223: 753, 754.
- JOHNSON D.L. y A. PILSON. 1972. Arsenate in the western North Atlantic and adjacent regions. *J. Mar. Res.* 30: 140-149.
- KLUMPP, D.W. y P.J. PETERSON. 1979. Arsenic and other trace elements in the waters and organisms of an estuary in SW England. *Environ. Pollut.* 19: 11-20.
- LECHUGA, A. 1919. Análisis del *Sargassum vulgare*. Tesis Prof., Fac. de Ciencias Químicas, UNAM, México, 16 p.
- LUNDE, G. 1970a. Analysis of trace elements in seaweed. *J. Sci. Food Agric.* 21: 416-418.
- LUNDE, G. 1970b. Analysis of arsenic and selenium in marine raw materials. *J. Sci. Food. Agric.* 21: 241-247.
- MENDOZA, G. y A. HERRERA. 1868. Composición del *Fucus vesiculosus*. *Gac. Méd. México* 3: 332.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1980. *Mineral tolerance of domestic animals*. National Academy of Sciences, Washington.
- PASCALÉ, L.R., S.S. WALDSTEIN. G. ENEBRING, A. DUBIN y P.B. SZANTO. 1962. Chromium intoxication with special reference to hepatic injury. *J. Amer. Med. Assoc.* 149: 1385-1389.
- PATTERSON, C. 1974. Lead in seawater. *Science* 183 (4124): 553, 554.
- PIÑA, C., M.M. ORTEGA y D. LANDEROS. 1983. Contribución al estudio de la composición química del alga mexicana *Ulva fasciata* Delile. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México* 54 (Ser. Bot.): 242-246.
- PILLAY, K.K.S., C.C. THOMAS, Jr., J.A. SONDEL y C.M. HYPHE. 1971. Determination of mercury in biological and environmental samples by neutron activation analysis. *Ann. Chem.* 43(11): 1419-1425.
- PROSI, F. 1979. Heavy metals in Aquatic Organisms. In: U. Förstner y G.T.W. Wittmann (Eds.), *"Metal Pollution in the Aquatic Environment"*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 271-323.
- SANTILLÁN, C. 1979. Progresos con el alga Spirulina en la alimentación de animales y humanos. *VIII Congr. Inter. Ing. Quím. (Bogotá, Colombia)* 7: 1-22.
- STAWNSKI, T.M. y O. MONROY. 1982. Metales tóxicos en lirio acuático. *II Congr. sobre problemas ambientales de México COPEA-ENCB, México*, p. 52 (Resumen).
- TANAKA, Y. y J.F. STAVA. 1979. Algal polysaccharides: their potential use to prevent chronic metal poisoning. In: H.A. Hoppe, T. Levring y Y. Tanaka (Eds.). *"Marine Algae in Pharmaceutical Science"*. Walter de Gruyter, Berlin, pp. 525-543.
- UNDERWOOD, E.J. 1971. *Trace elements in human and animal nutrition*. 2a. ed., Academic Press, New York, 471 pp.
- YAMAMOTO, T., Y. OTSUKA y M. OKAZAKI. 1979. The distribution of chemical elements in algae. In: H.A. Hoppe, T. Levring y Y. Tanaka (Eds.). *"Marine Algae in Pharmaceutical Science"* Walter de Gruyter, Berlin, pp. 569-607.
- YOUNG, E.G. y W.M. LANGILLE. 1958. The occurrence of inorganic elements in marine algae of the Atlantic provinces of Canada. *Canad. J. Bot.* 36: 301-310.

TABLA 1

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL Y DE MINERALES DE LA MEZCLA DE
ALGAS* DE PUNTA ARENA, ISLA SANTA MARGARITA, B.C.S.
(EN BASE HÚMEDA)

Materia seca	92.01%
Humedad	7.99
Proteína cruda	9.87
Extracto etéreo	0.67
Cenizas	39.90
Fibra cruda	4.62
Extracto libre de nitrógeno	36.95
Fósforo	1810 ppm
Potasio	29.5
Calcio	6340
Fierro	1870
Manganeso	156.25
Zinc	52.5
Cobre	1.75
Boro	3
Sodio	5.75%
Cloruros (NaCl)	14.5%

* *Spyridia filamentosa*, *Padina durvillaeii*, *Colpomenia sinuosa*, *Hydroclathrus clathratus*, *Ulva lactuca*, *Enteromorpha clathrata*, *Codium magnum* y *C. cuneatum*.

Según M.L. Chávez y M.M. Ortega (*inéd.*).

TABLA 2

CONTENIDO DE METALES PESADOS EN *ULVA LACTUCA* Y MEZCLA DE
ALGAS MARINAS DE ISLA SANTA MARGARITA, B.C.S.
(X PPM, PESO SECO)

Elemento	<i>Ulva lactuca</i>	Mezcla de algas
Hg	ND	ND
Pb	5.9	1.19
Cd	0.7	0.5
As	ND	0.8
Cr	1.1	1.4
Sr	185.0	208.0

ND: No detectable.

TABLA 3
 CONTENIDO DE METALES EN ALGAS MARINAS Y FANERÓGAMAS ACUÁTICAS (PPM/BASE MATERIA SECA)

ALGAS MARINAS	Hg	Pb	Cd	As	Cr	Sr
<i>Ulva lactuca</i> (1)	ND	5.9	0.7	ND	1.1	185
<i>Mezcla de algas</i> (1)	ND	1.19	0.5	0.8	1.4	208
Rodoficeas						
<i>Gelidium amansii</i>					0.5(9)	90(9)
<i>Gigartina stellata</i>				10.0(10)		133(3)
<i>Rhodomenia palmata</i>				10.0(10)	13.0(7)	18.8(3)
<i>Chondrus crispus</i>		8.0(10)		5.0(10)		
Feoficeas						
<i>Pelvetia canaliculata</i>		13.0(2)			1.2(2)	720(2)
<i>Sargassum ringgoldianum</i>					0.66(9)	1480(9)
<i>Fucus serratus</i>		4.0(2)	1.1(6)	28.0(7)	0.7(2)	520(2)
<i>F. vesiculosus</i>		7.0(2)	1.2(6)	24.0(7)	1.5(2)	730(2)
<i>Ascophyllum nodosum</i>		4.0(2)	1.3(6)	91.7(6)	1.9(2)	570(2)
<i>Undaria</i> spp.	0.12(5)	8.2(5)	0.9(5)	3.4(5)	1.1(5)	504(5)
<i>Laminaria digitata</i>				50.0(7)		783(3)
<i>L. saccharina</i>						698(3)
<i>Padin arborescens</i>					1.42(9)	1310(9)

ALGAS MARINAS	Hg	Pb	Cd	As	Cr	Sr
Clorofíceas						
<i>Ulva lactuca</i>		18.0(4)		4.0(7)	0.95(9)	38.2(3)
<i>U. pertusa</i>						218(9)
<i>Enteromorpha intestinalis</i>						54.8(3)
ALGAS DULCEACUÍCOLAS						
Cianofíceas						
<i>Spirulina geitleri</i>	0.2(8)	0.4(8)	0.1(8)	1.1(8)		
FANERÓGAMAS ACUÁTICAS						
<i>Eichhornia crassipes*</i>	6.15(1)	3.8(11)	0.01(11)	1.46(11)		
<i>E. crassipes**</i>	0.64(11)	0.77(11)	0.009(11)	0.08(11)		

* Río Valsequillo, Pue.

** Río Grijalva, Tab.

(1) Presente estudio; (2) Black y Mitchell (1952); (3) Bowen (1966); (4) Prosi (1979); (5) Furr *et al.* (1974); (6) Klumpp y Peterson (1979); (7) Lunde (1970a, b); (8) Santillán (1979); (9) Yamamoto *et al.* (1979); (10) Young y Langille (1968); (11) Stawnski y Monroy (1982).

TABLA 4

TABLA COMPARATIVA ENTRE EL CONTENIDO DE METALES DE ALGAS RECOLECTADAS EN ISLA SANTA MARGARITA, B.C.S. Y LOS NIVELES MÁXIMOS DE TOLERANCIA DE LA DIETA DE MINERALES EN ANIMALES DOMÉSTICOS*

Elementos (ppm)	CONTENIDO DE METALES (ppm) EN ALGAS		NIVELES MÁXIMOS DE TOLERANCIA (ppm) DE LA DIETA DE MINERALES EN ANIMALES DOMÉSTICOS						
	<i>U. lactuca</i>	Mezcla de algas	Vacas	Ovejas	Puercos	Aves de corral	Caballos	Conejos	
Hg	ND	ND	2	2	2	2	2	2	
Pb	5.9	1.19	30	30	30	30	30	30	
Cd	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
As	ND	0.8	50	50	50	50	50	50	
Cr	1.1	1.4							
Cr (clorado)			1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Cr (oxidado)			3000	3000	3000	3000	3000	3000	
Sr	185	208	2000	2000	3000	gallinas ponedoras 30000 otras 3000	2000	2000	

* Según National Research Council (1980).

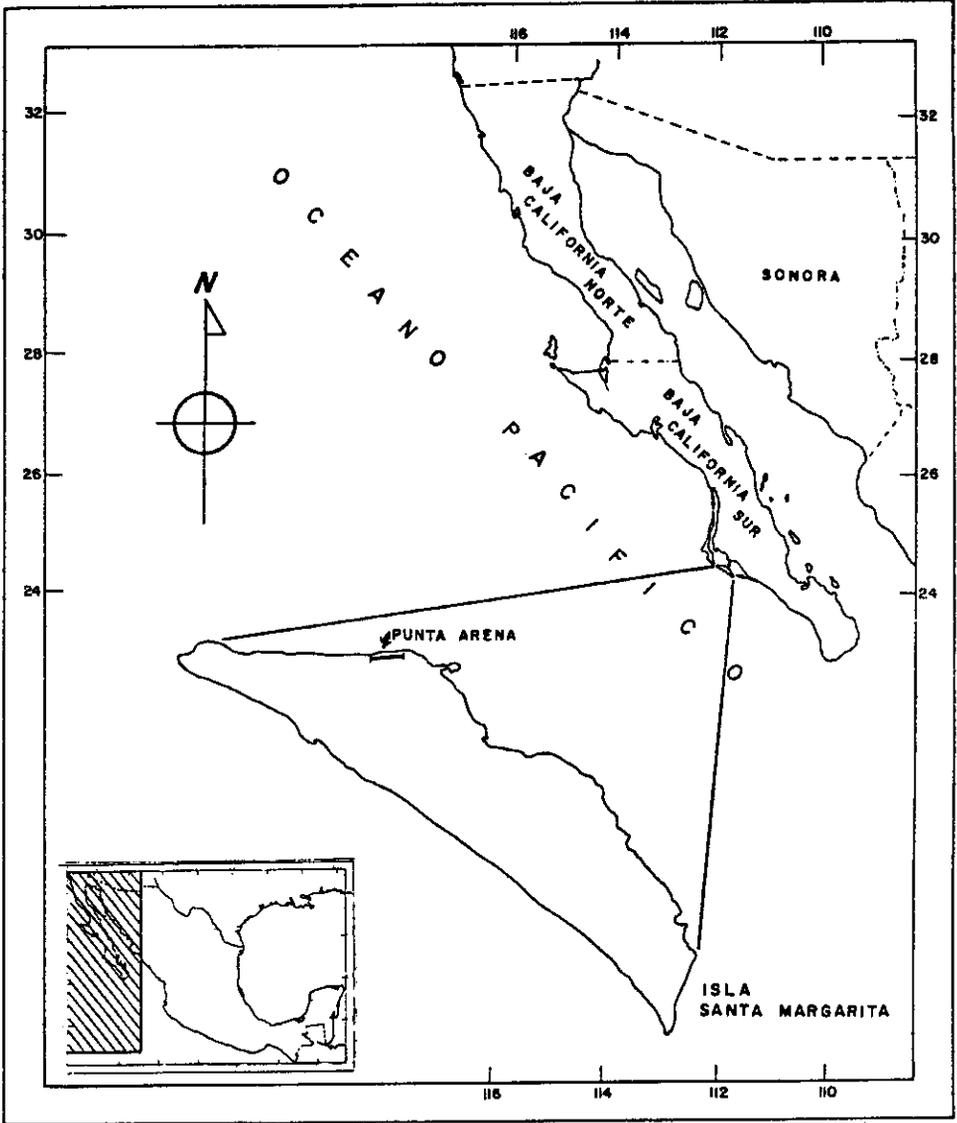


Fig. 1. Mapa de localización de la zona de estudio.