

**IN SITU RUMINAL DIGESTIBILITY AND DEGRADABILITY OF
Macrocystis pyrifera AND *Sargassum* spp. IN BOVINE LIVESTOCK**

**DIGESTIBILIDAD RUMINAL Y DEGRADABILIDAD *IN SITU* DE
Macrocystis pyrifera Y *Sargassum* spp. EN GANADO BOVINO**

H.H. Gojon-Báez¹
D.A. Siqueiros-Beltrones¹
H. Hernández-Contreras²

¹ Departamento de Biología Marina
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Apartado postal 19-B
La Paz, CP 23081, Baja California Sur, México

² Departamento de Zootecnia
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Apartado postal 19-B
La Paz, CP 23081, Baja California Sur, México

Recibido en febrero de 1998; aceptado en agosto de 1998

ABSTRACT

An alternative for the use of macroalgae as forage was explored since the technology for its processing is simple and accessible. In this study we determined the chemical composition, energy contribution, *in situ* degradability and ruminal digestibility of *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp. Both algae are considered fodder with low energy contribution. The disappearance of dry matter in the rumen in a time lapse of 96 h yielded an 85% digestibility estimate for *M. pyrifera* and 54.83% for *Sargassum* spp., with an estimated rate of degradability of 0.03 and 0.05, respectively. Crude protein analysis indicated that the 8.40% estimated for *M. pyrifera* and 5.99% for *Sargassum* spp. are not degraded in the rumen ($P < 0.01$). *In vitro* analysis suggests that these proteins may function as bypass proteins to be digested in the abomasum. Mineral analysis confirmed a high yield by these macroalgae. The overall analysis supports the use of these species as a complementary meal for ruminants and *M. pyrifera* as a better choice because of its higher nutritional value.

Key words: *Macrocystis pyrifera*, *Sargassum* spp., fodder, digestibility, ruminants.

RESUMEN

Una alternativa para el aprovechamiento de *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp. es utilizándolas como forraje, lo que resulta económico y requiere de tecnología sencilla y accesible. En este estudio se determinó la composición química, aporte energético, degradabilidad *in situ* y digestibilidad ruminal de *M. pyrifera* y *Sargassum* spp. Ambas algas son consideradas como forraje de bajo aporte energético. La desaparición de materia seca en intervalos de incubación hasta de 96 h resultó en un 85.36% de

digestibilidad para *M. pyrifera* y 54.83% para *Sargassum* spp., con una tasa de degradación de 0.03 y 0.05, respectivamente. El análisis de proteína cruda indicó que los valores estimados de 8.40% y 5.99% no son degradados en el rumen ($P < 0.01$). Sin embargo, los análisis *in vitro* mostraron que pueden funcionar como proteínas de sobrepaso que son digeridas en el abomaso. Se confirma el potencial de ambas especies de algas como forraje para rumiantes y *M. pyrifera* se considera nutricionalmente superior.

Palabras clave: *Macrocystis pyrifera*, *Sargassum* spp., forraje, digestibilidad, rumiantes.

INTRODUCTION

A considerable number of algal species have been harvested along the coastline to be used as forage for livestock. This is a common practice in European countries (Chapman and Chapman, 1980), where livestock can be seen foraging in tidepools all year round (Dawson, 1966; Jensen, 1972; Bold and Wynne, 1985). In some cases, algae are collected, dried and ground to make flour, and mixed with other forages as a dietary supplement of minerals (Dawes, 1991). For this purpose, over 100,000 mt were consumed worldwide in 1977 (Chapman and Chapman, 1980).

Along the western Pacific, extensive beds of macroalgae represent a great potential for their eventual exploitation. On the Mexican coasts, 55 economically important species have been identified. *Macrocystis pyrifera* beds and other macroalgae in Baja California yielded over 60,000 mt in 1993, representing the fifth largest fishery in Mexico (Secretaría de Pesca, 1993). For *M. pyrifera* alone, standing crops of over 95,000 mt have been estimated for the western coast of the Baja California peninsula (Hernández-Carmona *et al.*, 1991), while *Sargassum* spp. may yield over 200,000 t of standing crop for the west coast of the Gulf of California (Pacheco-Ruiz *et al.*, 1996).

In spite of the huge potential of *Sargassum* spp. and *M. pyrifera* on the Mexican coasts, their main utilization has been solely in the alginate industry. However, in Mexico an established industry for alginate production does not exist, mainly because of the large amounts of fresh

INTRODUCCIÓN

Una gran cantidad de especies de algas se cosecha a lo largo del litoral para ser usadas como forraje para ganado. Es una práctica común en Europa (Chapman y Chapman, 1980), donde se observa al ganado forrajeando en las pozas de marea durante todo el año (Dawson, 1966; Jensen, 1972; Bold y Wynne, 1985). En algunos casos, las algas se recolectan, se secan y se trituran para hacer harina y se mezclan con otros forrajes para hacer complementos dietéticos de minerales (Dawes, 1991). Para este fin, se consumieron más de 100,000 t en todo el mundo durante 1977 (Chapman y Chapman, 1980).

A lo largo del Pacífico occidental, los lechos extensos de macroalgas representan gran potencial para su explotación eventual. Sobre las costas mexicanas, se han identificado 55 especies de importancia económica. Las cosechas de los mantos de *Macrocystis pyrifera* y de otras macroalgas de Baja California produjeron más de 60,000 t en 1993, lo que representa la quinta pesquería más grande en México (Secretaría de Pesca, 1993). Se ha estimado una biomasa cosechable para *M. pyrifera* de más de 95,000 t en la costa oeste de la península de Baja California (Hernández-Carmona *et al.*, 1991), mientras que para *Sargassum* spp., se ha calculado un rendimiento de biomasa cosechable de más de 200,000 t en la costa oeste del Golfo de California (Pacheco-Ruiz *et al.*, 1996).

A pesar de la potencial tan grande que tienen *Sargassum* spp. y *M. pyrifera* en las costas mexicanas, básicamente se han utilizado sólo en la industria de alginatos. Sin embargo, en México no existe una industria establecida para la producción

water required for their rinsing and extraction (Hernández-Carmona, 1985). Such fresh-water limitations are exacerbated for the southern part of the Baja California peninsula. A profitable way of using the large populations of these macroalgae is to process them unrinsed, dried and ground as meal for livestock and fowl. The process is inexpensive and uses readily attainable technology (Manzano and Rosales, 1989).

Adding *Sargassum* spp. (and other algae) flour to fowl meal results in better growth and higher quality egg production (Jensen, 1972; Rodríguez-Bernal, 1995). Feeding macroalgae to cows and sheep may produce an increase in milk fat and a higher production of wool. In the latter, a reduction in mortality caused by white muscle disease has also been observed (Jensen, 1972).

The use of macroalgae as meal for livestock in Mexico has not been contemplated. Agricultural and intensive production systems make it difficult to employ macroalgae as a choice for feeding livestock. Nevertheless, when basic forage lacks the minimum vitamin and minerals required, adding alga meal may represent a desirable alternative. *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp. represent a good source of vegetable flour that may serve as a good nutritional complement readily available for ruminants. Earlier tests of the relative nutritional value of seaweeds compared to that of regular fodder have been inconclusive because of the problem of their relative digestibility (Chapman and Chapman, 1980).

Here we consider the need for supplying currently unused resources like macroalgae as a strategy for complementing the ruminant livestock industry, specifically *M. pyrifera* and *Sargassum* spp. To support our proposal, first we find it necessary to reach our objective of assessing the effectiveness of using these macroalgae as fodder for ruminants on the basis of their digestibility and degradability.

de alginatos, debido a la gran cantidad de agua dulce que se requiere para su lavado y extracción (Hernández-Carmona, 1985). Se agravan aún más estas limitaciones de agua dulce en la parte sur de la península de Baja California. Una manera de aprovechar las grandes cantidades de estas macroalgas es procesarlas sin lavar, secarlas y triturarlas como forraje para ganado y aves. Este proceso no es costoso y utiliza tecnología ya disponible (Manzano y Rosales, 1989).

La adición de harina de *Sargassum* spp. (u otras algas) a forraje para aves ha resultado en un mejor crecimiento y una mayor calidad en la producción de huevos (Jensen, 1972; Rodríguez-Bernal, 1995). La provisión de macroalgas a vacas y ovejas puede incrementar la grasa de leche y la producción de lana. Se ha visto una disminución en la mortalidad de ovejas causada por la enfermedad de músculo blanco (Jensen, 1972).

No se ha contemplado el uso de macroalgas como harina para ganado en México. Los sistemas agrícolas y de producción intensiva dificultarían el uso de macroalgas como una opción para alimentar ganado. Sin embargo, cuando el forraje básico carece de las vitaminas y minerales mínimas requeridas, la adición de harina algal representa una alternativa deseable. *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp. representan una buena fuente de harina vegetal, que puede servir como un buen complemento dietético ampliamente disponible para rumiantes. Estudios anteriores sobre el valor nutritivo relativo de las algas comparado con el de forraje regular han sido poco concluyentes, debido al problema de su digestibilidad relativa (Chapman y Chapman, 1980).

Aquí consideramos la necesidad de proveer los recursos actuales no utilizados, tales como las macroalgas como una estrategia para complementar la industria de ganado rumiante, específicamente *M. pyrifera* y *Sargassum* spp. Para apoyar nuestra propuesta, primero tenemos que lograr el objetivo de determinar la eficacia de usar estas macroalgas como forraje para rumiantes, con base en su digestibilidad y degradabilidad.

METHODOLOGY

A chemical proximal analysis of *M. pyrifera* and *Sargassum* spp. was carried out, along with estimations of raw energy, digestible energy, metabolizable energy, net production energy and maintenance energy in ruminants. *In situ* dry matter digestibility and protein degradability were determined for both macroalgae, together with an *in vitro* analysis of protein degradability. The degradability of minerals was also determined.

Proximal analysis

An analysis of the chemical composition for both algae was performed following standard techniques in Tejada (1983) for crude protein (CP), using sulphuric acid and digestive mix; ash (A), burning all organic matter at 550°C; ethereal extract (EE), using hexane as solvent; crude fiber (CF), by acid digestion for hemicellulose and alkaline digestion for lignine; nitrogen free extract (NFE), and raw energy (RE), using a calorimeter. The heat measured was used to compute energy with the following formula:

$$W = \frac{Hm + e1 + e2}{t} \quad (1)$$

where W is the energy, in calories per degree Celsius; H , combustion heat of the benzoic acid sample (6318 Cal g⁻¹); m , grams of benzoic acid; t , difference between initial and final temperature; $e1$, correction to heat of nitric acid formation (1 Cal mL⁻¹); and $e2$, correction to heat for wire combustion.

Combustion heat of the benzoic acid sample (H) was estimated by (Tejada, 1983):

$$H = \frac{(Tf - Ti)(W) - C1 - C2 - C3}{m} \quad (2)$$

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un análisis químico proximal de *M. pyrifera* y *Sargassum* spp., así como estimaciones de energía cruda, energía digerible, energía metabolizable, energía de producción neta y energía de mantenimiento en rumiantes. Se determinaron la digestibilidad de materia seca y la degradabilidad de proteína *in situ* para ambas macroalgas, junto con un análisis *in vitro* de la degradabilidad de proteína. También se determinó la degradabilidad de los minerales.

Análisis proximal

Se realizó un análisis de la composición química de ambas algas, de acuerdo con las técnicas estándares en Tejada (1983) para proteína cruda (CP), utilizando ácido sulfúrico y una mezcla digestiva; ceniza (A), quemando toda la materia orgánica a 550°C; extracto etéreo (EE), utilizando hexano como solvente; fibra cruda (CF), por digestión ácida para hemicelulosa y digestión alcalina para lignina; y extracto libre de nitrógeno (NFE) y energía cruda (RE), con un calorímetro. Se utilizó el calor medido para determinar la energía, utilizando la siguiente fórmula:

donde W es la energía en calorías por grado centígrado; H , el calor por combustión de la muestra del ácido benzoico (6318 Cal g⁻¹); m , gramos de ácido benzoico; t , la diferencia entre la temperatura inicial y final; $e1$, corrección por calor de la formación de ácido nítrico (1 Cal mL⁻¹); $e2$, corrección por calor de la combustión del alambre.

El calor de la combustión de la muestra del ácido benzoico (H) se determinó por (Tejada, 1983):

where T_f is the maximum temperature, after correction with the manufacturer's factor; T_i , corrected initial temperature; C_1 , calory equivalent due to formation by sulphuric acid [mL of Na_2CO_3 (0.072 N \times 1)]; C_2 , calory equivalent due to formation by sulphuric acid [$14 \times \% \text{ sulphur} \times \text{sample (g)}$]; C_3 , calory equivalent due to heat by wire combustion ($\text{cm} \times 2.3$); W , calory equivalent of the calorimeter; and m , sample weight (g).

Mineral determinations (magnesium, potassium, calcium, sodium) were done by spectrophotometry and using calorimetric quantification (P).

Energy estimation

Based on the proximal analysis values, the energy provided by both macroalgae was estimated using the formulas proposed for livestock in NRC (1984) for assessing their nutritional efficiency and evaluating the dietary needs of the animals:

- Digestible energy (DE):

$$\text{DE}(\text{Mcal kg}^{-1}) = 0.504(\% \text{CP}) + 0.077(\% \text{EE}) + 0.02(\% \text{CF}) + 0.000377(\% \text{NFE})^2 + 0.011(\% \text{NFE}) - 0.152 \quad (3)$$

- Metabolizable energy (ME):

$$\text{ME}(\text{Mcal kg}^{-1}) = 0.82 \times (\text{DE}) \quad (4)$$

- Net maintenance energy (NME):

$$\text{NME}(\text{Mcal kg}^{-1}) = 1.37(\text{ME}) - 0.138(\text{ME})^2 + 0.0105(\text{ME})^3 - 1.12 \quad (5)$$

- Net energy gain (NEG):

$$\text{NEG}(\text{Mcal kg}^{-1}) = 1.42(\text{ME}) - 0.174(\text{ME})^2 + 0.0122(\text{ME})^3 - 1.65 \quad (6)$$

donde T_f es la temperatura máxima después de la corrección con el factor del fabricante; T_i , la temperatura inicial corregida; C_1 , equivalente calórico debido a la formación por ácido sulfúrico [mL de Na_2CO_3 (0.072 N \times 1)]; C_2 , equivalente calórico debido a la formación por ácido sulfúrico [$14 \times \% \text{ azufre} \times \text{muestra (g)}$]; C_3 , equivalente calórico debido al calor de la combustión del alambre ($\text{cm} \times 2.3$); W , equivalente calórico del calorímetro; m , peso de la muestra (g).

Se hicieron las determinaciones mineralógicas de magnesio, potasio, calcio y sodio por medio de espectrofotometría y cuantificación calorimétrica (P).

Estimación de energía

Se estimó la energía proporcionada por ambas macroalgas con base en los valores del análisis proximal, utilizando las fórmulas propuestas para ganado en NRC (1984) para evaluar su eficiencia nutritiva y los requerimientos alimenticios de los animales:

- Energía digerible (DE):

- Energía metabolizable (ME):

- Energía de mantenimiento neta (NME):

- Ganancia de energía neta (NEG):

Experimental design

Four cross-breed zebu bulls, weighing around 600 kg and of around five years of age, were used. These were ruminally fistulated, which is considered a standard surgical technique used in animal nutrition research. In this way, food is directly introduced into the rumen to study *in situ* digestibility and to measure the rate at which meal constituents are degraded directly in the rumen (Garza, 1990; Soto, 1995).

The animals were kept in 4 × 12-m metabolic cages, shaded, with fixed individual feeders and watering places. Two rations of alfalfa were fed to the animals previously and during the study in a 2.7% by live weight proportion (08:00 and 16:00).

Digestibility of dry matter

The degradation of dry matter derived from *M. pyrifera* and *Sargassum* spp. was measured *in situ* using nylon bags as described by Orskov *et al.* (1980). Bags were 15 cm in length and 5 cm wide, with a pore size of 30 µm. They contained 5 g of sample, ground in a mill with a 1-mm sieve. The bags containing the dry matter were introduced into the rumen of fistulated animals with a ballast to keep the bags in place.

The rate at which the sample disappeared was registered over the following time intervals: 0, 6, 12, 48, 72 and 96 h. This extension over the standard 48 to 72-h incubation periods needed for degrading low quality forage (Orskov *et al.*, 1980) is intended for determining potential degradability (Llamas and Hernández, 1990). Following Peeling's technique (Nocek and English, 1986), a regression was plotted using the logarithmic transformation of the remaining nutrient in each time interval.

Time zero represents the soluble fraction that is readily degraded in the rumen. This was measured putting the bags with the sample in water at

Diseño del experimento

Se utilizaron cuatro novillos encastados de cebú de aproximadamente 600 kg y cinco años de edad, fistulados ruminalmente. La fistulación se considera una técnica quirúrgica estándar utilizada en la investigación de nutrición animal. De esta manera, el alimento se introduce directamente al rumen para estudiar la digestibilidad *in situ* y para medir la razón con que los componentes de la comida se degradan directamente en el rumen (Garza, 1990; Soto, 1995).

Los animales se mantuvieron en jaulas metabólicas de 4 × 12 m, sombreadas y equipadas con alimentadores y abrevaderos fijos individuales. Los animales fueron alimentados con dos raciones de alfalfa previamente y durante el estudio a una razón de 2.7% por peso vivo (08:00 y 16:00).

Digestibilidad de la materia seca

La degradación de la materia seca derivada de *M. pyrifera* y *Sargassum* spp. se midió *in situ* con bolsas de nailon según Orskov *et al.* (1980). Las bolsas midieron 15 cm de largo por 5 cm de ancho, con un tamaño de poro de 30 µm. Las bolsas contenían 5 g de muestra, molida con una trituradora con un tamiz de 1 mm. Se introdujeron las bolsas con la materia seca al rumen de los animales fistulados con un lastre para mantener las bolsas en su lugar.

Se registró la tasa de desaparición de la muestra durante los siguientes intervalos de tiempo: 0, 6, 12, 48, 72 y 96 h. Este periodo mayor que las 48 a 72 h de incubación estándar que se requieren para degradar forraje de baja calidad (Orskov *et al.*, 1980) es necesario para poder determinar la degradabilidad potencial (Llamas y Hernández, 1990). Siguiendo la técnica de Peeling (Nocek y English, 1986), se graficó una regresión con la transformación logarítmica del alimento restante en cada intervalo de tiempo.

La hora cero representa la fracción soluble que se degrada fácilmente en el rumen. Ésta se midió colocando las bolsas con la muestra en agua

39°C for 15 min, simulating the rumen's temperature. Bags were then rinsed with running water for 2 min and dried at 70°C for 24 h. The difference in weight before and after rinsing represented the percentage of soluble matter at time zero. For the following intervals the bags were reintroduced into the rumen at the same time. A bag was extracted at the corresponding interval from each animal. Each time, bags were rinsed with running water for 2 min and then dried at 70°C for 24 h (Orskov *et al.*, 1980).

Degradability of chemical components

Ash and protein determination were carried out using standard procedures in AOAC (1975) and Tejada (1983). Degradability parameters were determined using the method proposed by Orskov and McDonald (1979), based on the DUD iterative procedure of non-linear regression (SAS, 1988). Values were fed into the following equation:

$$P1 = a + b(1 - e^{-ct}) \quad (7)$$

where $P1$ is the degradation potential as a function of time (t); a , intercept of degradation curve at time zero; b , degradation potential of component; e , base of natural logarithms; c , constant rate of degradation for b ; and $a + b$, total degradation of component

RESULTS AND DISCUSSION

Proximal analysis

To assess the nutritional quality of any type of food it is first necessary to determine the proximal chemical analysis. This serves to support further analyses and as a basis for establishing nutrient proportions in the diets of livestock (Manzano and Rosales, 1989). As with terrestrial forage, the chemical composition of brown seaweeds varies

a 39°C por 15 min para simular la temperatura del rumen. Posteriormente se enjuagaron las bolsas con agua corriente por 2 min y se secaron a 70°C por 24 h. La diferencia en peso antes y después del enjuague representó el porcentaje de la materia soluble a la hora cero. Para los intervalos posteriores, las bolsas se reintrodujeron en el rumen al mismo tiempo. Se extrajo una bolsa de cada animal en el intervalo correspondiente, las cuales se enjuagaron cada vez con agua corriente por 2 min y posteriormente se secaron a 70°C por 24 h (Orskov *et al.*, 1980).

Degradabilidad de los componentes químicos

Se determinaron la ceniza y proteína utilizando los procedimientos estándares de AOAC (1975) y Tejada (1983). Los parámetros de degradabilidad se determinaron con el método propuesto por Orskov y McDonald (1979), con base en el procedimiento iterativo DUD de regresión no lineal (SAS, 1988). Los valores se sometieron a la siguiente ecuación:

donde $P1$ es la degradación potencial como función del tiempo (t); a , la intersección de la curva de degradación a la hora cero; b , la degradación potencial del componente; e , la base de los logaritmos naturales; c , la tasa constante de degradación para b ; $a + b$, degradación total del componente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis proximal

Para determinar la calidad nutritiva de cualquier tipo de alimento, primero es necesario determinar el análisis químico proximal. Esto sirve como apoyo para futuros análisis y como base para establecer las proporciones nutritivas de las dietas de ganado (Manzano y Rosales, 1989). Al

from one species to another, and even within the same species. Geographical distribution, time of year, wave exposure and currents, nutrient concentrations, depth, temperature and age are factors that influence the particular chemical characteristics of seaweeds (Jensen and Haug, 1956). With this in consideration, the proximal analysis and raw energy values are similar to those estimated in other studies (Mateus, 1972; Manzano and Rosales, 1989; Rodríguez-Montesinos and Hernández-Carmona, 1991; Castro-González, 1994).

In this way, the protein or amino acid requirements for a ruminant (as in other livestock) depend on its particular physiological state (growth, pregnancy, lactation, etc.). Such a demand must be met by microbial protein production in the duodenum, plus protein from matter not digested in the rumen (Shimada *et al.*, 1986). The protein content of *M. pyrifera* (8.4%) and *Sargassum* spp. (5.99%) is much lower than in some terrestrial animal fodder, such as alfalfa and cotton seed (table 1), but similar to other equally common forage. The use of these subproducts in Baja California Sur is based on availability, price and time of year (Martínez, 1980).

The estimated values of crude protein for *M. pyrifera* fall between the ranges reported in the previous literature. The differences may be due to the geographical and/or seasonal variations of the alga populations sampled for each study as suggested by Rodríguez-Montesinos and Hernández-Carmona (1991).

Crude protein for *Sargassum* spp. was lower than for *S. sinicola* as reported by the above authors. The latter is considered the most abundant species of *Sargassum* in the southern part of the Baja California peninsula (Rocha-Ramírez and Siqueiros-Beltrones, 1990). Our estimates could represent populations of the same taxon, though it is very difficult to separate it from *S. horridum*, which has also been reported as highly abundant and with similar occurrences in time and space (Muñetón-Gómez and Hernández-Carmona, 1993). Taxonomic precision is needed to pinpoint the origin of the differences observed

igual que el forraje terrestre, la composición química de las algas pardas varía de una especie a otra, incluso dentro de la misma especie. La distribución geográfica, estación del año, exposición a las olas y corrientes, concentraciones de nutrientes, profundidad, temperatura y edad son factores que afectan las características químicas particulares de las algas (Jensen y Haug, 1956). Con esta consideración, el análisis proximal y los valores de energía cruda son similares a las estimaciones de otros estudios (Mateus, 1972; Manzano y Rosales, 1989; Rodríguez-Montesinos y Hernández-Carmona, 1991; Castro-González, 1994).

De esta manera, los requisitos de proteína o aminoácidos para el rumiante (al igual que para otro ganado) dependen de su estado fisiológico particular (crecimiento, embarazo, lactancia, etc.). Esta demanda se tiene que satisfacer a través de la producción de proteína microbiana en el duodeno, junto con la proteína de materia no digerida en el rumen (Shimada *et al.*, 1986). El contenido de proteína de *M. pyrifera* (8.4%) y de *Sargassum* spp. (5.99%) es mucho menor que el de otros alimentos para animales terrestres, tales como alfalfa y semilla de algodón (tabla 1), pero es similar a otro forraje igualmente común. El uso de estos subproductos en Baja California Sur depende de su disponibilidad, precio y estación del año (Martínez, 1980).

Los valores estimados de la proteína cruda para *M. pyrifera* se encuentran dentro de los intervalos reportados en la literatura. Las diferencias pueden deberse a las variaciones geográficas y/o estacionales en las biomásas de algas muestreadas en cada estudio, como sugieren Rodríguez-Montesinos y Hernández-Carmona (1991).

La proteína cruda de *Sargassum* spp. fue menor que la de *S. sinicola*, como reportaron los autores anteriores. La última especie se considera la más abundante de *Sargassum* en la parte sur de la península de Baja California (Rocha-Ramírez y Siqueiros-Beltrones, 1990). Nuestras estimaciones pueden representar poblaciones de este mismo taxón, aunque es muy difícil separarla de *S. horridum*, que también se ha reportado en

among the *Sargassum* species, as well as data on the age, size and source of the specimens.

The ash values for both macroalgae after combustion of all organic matter reflect the marine environment in which these species grow, hence the much higher values in *M. pyrifera* and *Sargassum* spp. than in terrestrial forage (table 1). Thus, the mineral content observed ensures a high supply of calcium, sodium, potassium and magnesium, plus phosphorus in the latter species, when fed to ruminants. Differences with other studies may be explained as with the crude protein variations.

The amount of ethereal extract measured is low both for algae and terrestrial forage (table 1), representing a low content of lipidic acids that are important in the assimilation of liposoluble vitamins. Ruminants rarely show deficiency in these compounds, although most are degraded by hydrogenation and those that are not, suffice the animal needs. On the other hand, unsaturated lipids show spontaneous oxidation, which poses a common problem in the food industry. The result is destruction of vitamins and that food becomes rancid, less palatable and nutritious (Ocampo-García, 1981). The low values of ethereal extract in *M. pyrifera* and *Sargassum* spp. renders them less nutritious than terrestrial forage, but they are also less susceptible to becoming rancid and can be stored as flour for a longer time.

Crude fiber content is inversely proportional to the nutritional value of forage because it consists mainly of cellulose, a non-digestible carbohydrate. Crude fiber was low in both species (table 1), contrary to terrestrial forage that, because of the vascular construction of plants, have high crude fiber content. Values from different studies are quite similar. Those that are not may be explained in terms of the age of the specimens used, because younger thalli have lower amounts of crude fiber.

Other seaweed carbohydrates (NFE) exist mainly as sugars and vegetable gums (Chapman and Chapman, 1980). They are important suppliers of energy and may contribute to the nutritional value of the algae (Manzano and Rosales, 1989),

abundancias altas y existencias similares en el tiempo y espacio (Muñetón-Gómez y Hernández-Carmona, 1993). Se requiere precisión taxonómica para determinar el origen de las diferencias observadas dentro de las especies de *Sargassum*, así como datos sobre edad, tamaño y origen de los especímenes.

Los valores de ceniza de ambas macroalgas después de la combustión de toda la materia orgánica reflejan el ambiente marino en que crecen estas especies, por ende los valores mucho mayores en *M. pyrifera* y *Sargassum* spp. que en forraje terrestre (tabla 1). El contenido mineral observado asegura un aporte alto de calcio, sodio, potasio y magnesio, así como fósforo en la última especie, cuando se suministra a rumiantes. Las diferencias con otros estudios se pueden explicar de la misma manera que las variaciones de proteína cruda.

La cantidad medida de extracto etéreo es baja para algas y forraje terrestre (tabla 1), lo que representa un contenido bajo de ácidos lipídicos que son importantes para la asimilación de vitaminas liposolubles. Los rumiantes rara vez presentan deficiencia de estos compuestos, aunque casi todos se degradan con la hidrogenación, y los que no se degradan, cumplen con los requisitos del animal. Por otro lado, los lípidos no saturados muestran oxidación espontánea, lo que representa un problema común en la industria de alimentos. El resultado es la destrucción de las vitaminas y rancidez de la comida, haciéndola menos comestible y nutritiva (Ocampo-García, 1981). Dados los valores bajos de extracto etéreo en *M. pyrifera* y *Sargassum* spp., éstas resultan ser menos nutritivas que forraje terrestre, pero también menos susceptibles a ranciarse y se pueden almacenar como harina por mayor tiempo.

El contenido de fibra cruda es inversamente proporcional al valor nutritivo del forraje, porque consiste principalmente de celulosa, un carbohidrato no digerible. La fibra cruda fue baja para ambas especies (tabla 1). Esto difiere con el forraje terrestre que, debido a la construcción vascular de las plantas, tiene un alto contenido de fibra cruda. Los valores de otros estudios son muy

Table 1. Chemical proximal analysis and raw energy estimates (percentages) for *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp. in this study, compared to commonly used fodder in Baja California Sur (Peláez-Valdivia, 1988). CP = crude protein; A = ash; EE = ethereal extract; CF = crude fiber; NFE = nitrogen free extract; RE = raw energy (Mcal g⁻¹).

Tabla 1. Análisis químico proximal y estimaciones de energía cruda (porcentajes) para *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp. en este estudio, comparados con forraje utilizado comúnmente en Baja California Sur (Peláez-Valdivia, 1988). CP = proteína cruda; A = ceniza; EE = extracto etéreo; CF = fibra cruda; NFE = extracto libre de nitrógeno; RE = energía cruda (Mcal g⁻¹).

Component	<i>M. pyrifera</i>	<i>Sargassum</i>	Alfalfa	Cotton*	Corn	Sorghum	Buffel
CP	8.40	5.99	18.56	35.16	8.86	5.06	4.45
A	36.07	38.45	7.16	5.89	8.58	11.32	13.86
EE	0.55	0.58	1.65	6.20	2.16	1.47	4.77
CF	8.68	12.75	30.88	21.81	19.9	37.10	23.20
NFE	46.28	41.98	41.75	30.94	60.5	45.05	53.72
RE	2.3	2.2	4.3	4.7	4.1	4.0	3.9

* Cotton seed; mechanical extraction.

Table 2. Mineral content in *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp. (in mg g⁻¹), compared to commonly used fodder (NRC, 1984).

Tabla 2. Contenido de minerales de *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp. (en mg g⁻¹), comparado con forraje utilizado comúnmente (NRC, 1984).

Mineral	<i>M. pyrifera</i>	<i>Sargassum</i>	Alfalfa	Cotton*	Corn	Sorghum	Buffel
Magnesium	52.8	138.3	2.7	3.5	2.9	2.9	1.4
Potassium	52.6	24.4	21.3	12.1	9.3	14.7	7.1
Sodium	34.2	24.5	1.5	3.1	0.3	0.2	-
Calcium	14.0	32.7	15.3	1.6	5.0	4.0	5.7
Phosphorus	3.1	27.9	2.7	7.5	2.5	2.1	2.1

* Cotton seed; mechanical extraction.

- No data available.

since some animals have appropriate enzymes for hydrolization of these carbohydrates to yield monosaccharides (Chapman and Chapman, 1980). The NFE content measured (table 1) falls

similares y las diferencias se pueden explicar en términos de la edad de los especímenes usados, ya que talos más jóvenes tienen cantidades menores de fibra cruda.

among those of terrestrial forages; thus, energy supply of both macroalgae can be considered acceptable. On the other hand, conventional animal fodder has double the raw energy supply than *M. pyrifera* or *Sargassum* spp., because of the higher organic matter, but a lower mineral content.

Mineral content

Minerals are an essential part of the diet of ruminants and a mineral deficiency can cause grave metabolic alterations. Meals derived from terrestrial fodder may normally lack sufficient minerals to satisfy the animal needs. Cattle are commonly seen ingesting dirt or small rocks to compensate for it. Seaweed flour, on the other hand, supplies a high amount of minerals (Jensen, 1977) and the species we analyzed are no exception. The differences observed with terrestrial fodder are overwhelming (table 2).

The above characteristic renders seaweeds as fine fertilizers, although with most it is necessary to add phosphorus, which is commonly not an abundant component (Chapman and Chapman, 1980). In *M. pyrifera*, the amount of potassium is double than in *Sargassum* spp., but other minerals such as magnesium and phosphorus are much higher in the latter; thus, *Sargassum* spp. may be better suited as a fertilizer than *M. pyrifera*.

Energy estimates

Digestible, metabolizable, net maintenance and production energy values, computed from the estimated contents of organic components, are low in both macroalgae analyzed (mainly in *Sargassum* spp.), compared to common animal fodder (table 3). The latter have a larger percentage of organic matter (around 80 to 90% dry weight), whilst both algae have lower contents of protein and fat, and higher of carbohydrates. *M. pyrifera* rendered higher values due to its greater content of crude protein, carbohydrates, and less crude fiber than *Sargassum* spp.

In case these algae should be used as the sole animal diet, the latter species would supply

Otros carbohidratos de algas (NFE) existen principalmente como azúcar y goma vegetal (Chapman y Chapman, 1980). Son fuentes importantes de energía y pueden contribuir al valor nutritivo de las algas (Manzano y Rosales, 1989), puesto que algunos animales tienen las enzimas apropiadas para la hidrolización de estos carbohidratos para producir monosacáridos (Chapman y Chapman, 1980). El contenido de NFE medido (tabla 1) se encuentra dentro de los de forraje terrestre; así, el aporte energético de ambas macroalgas se considera aceptable. Por otra parte, el forraje animal convencional tiene dos veces el aporte de energía cruda que *M. pyrifera* o *Sargassum* spp., por su mayor cantidad de materia orgánica, pero con menor contenido mineral.

Contenido mineral

Los minerales forman parte esencial de la dieta de los rumiantes y una deficiencia mineral puede causar alteraciones metabólicas graves. Las harinas derivadas de forraje terrestre a menudo pueden carecer de minerales suficientes para cumplir con las necesidades del animal. Es muy común observar al ganado comiendo tierra o piedras pequeñas para compensar esta deficiencia. La harina algal, por otra parte, provee una cantidad alta de minerales (Jensen, 1977), y las especies analizadas aquí no fueron ninguna excepción. Las diferencias observadas con el forraje terrestre son enormes (tabla 2).

Lo anterior caracteriza a las algas como fertilizantes buenos, aunque en la mayoría de los casos es necesario añadir fósforo porque no es un componente comúnmente abundante (Chapman y Chapman, 1980). La cantidad de potasio de *M. pyrifera* es dos veces mayor que la de *Sargassum* spp., pero otros minerales como magnesio y fósforo son mucho más altos en la última; por tal motivo, *Sargassum* spp. resultaría ser mejor fertilizante que *M. pyrifera*.

Estimaciones de energía

Los valores de energía digerible, metabolizable, y de mantenimiento y producción neta,

Table 3. Different types of energy measured (in Mcal g⁻¹) for *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp., compared to commonly used fodder in Baja California Sur (Peláez-Valdivia, 1988). DE = digestible energy; ME = metabolizable energy; NME = net maintenance energy; NGE = net gain energy.

Tabla 3. Diferentes tipos de energía medidos (en Mcal g⁻¹) en *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp., comparados con forraje utilizado comúnmente en Baja California Sur (Peláez-Valdivia, 1988). DE = energía digerible; ME = energía metabolizable; NME = energía de mantenimiento neta; NGE = ganancia de energía neta.

Energy	<i>M. pyrifera</i>	<i>Sargassum</i>	Alfalfa	Cotton*	Corn	Sorghum	Buffel
DE	1.8	1.5	2.6	3.1	2.9	2.2	2.5
ME	1.4	1.2	2.1	2.6	2.3	1.8	2.1
NME	0.63	0.44	1.3	1.6	1.4	0.96	1.2
NGE	0.10	-0.08	0.72	1.08	0.9	0.42	0.67

* Cotton seed; mechanical extraction.

enough energy to maintain the animal weight, while *M. pyrifera* would result in a small net gain. Nonetheless, when used as supplementary meals, the fiber content aids in the digestion process.

Digestibility of dry matter

Ruminal digestibility measurements give an idea of which algal nutrients may be assimilated by ruminants, whereas crude fiber content is an indicator of non-digestible matter (Manzano and Rosales, 1989). Thus a high fiber content indicates a low nutritious value because it consists mainly of cellulose derived from the cell walls of the algae. A maximum digestibility of 85.36% for *M. pyrifera* was observed at 96 h (fig. 1), better than for *Sargassum* spp. and terrestrial fodder. According to formula 7, the curve interaction at time zero (a) was 32.7, potential degradability of component b was 53.9, and the constant rate of degradation of b was $c = 0.03$. For *Sargassum* spp. (fig. 1), values were $a = 8.17$, $b = 46.63$ and $c = 0.05$, with a maximum digestibility of 54.86% at the 96-h time lapse.

In our study, the animals were fed previously (15 days) and during sampling with alfalfa in order to increase the cellulolytic bacterial flora.

determinados con el contenido de componentes orgánicos estimado, son bajos en las dos algas analizadas (principalmente en *Sargassum* spp.), comparados con forraje animal común (tabla 3). El forraje animal tiene mayor porcentaje de materia orgánica (alrededor de 80 a 90% de peso seco), mientras que ambas algas tienen contenidos más bajos de proteína y grasa y muchos carbohidratos. *Macrocystis pyrifera* obtuvo valores más altos debido a su mayor contenido de proteína cruda, carbohidratos, y menos fibra cruda que *Sargassum* spp.

Si estas algas fueran utilizadas como el único alimento animal, *Sargassum* spp. proveería suficiente energía para mantener el peso del animal, mientras que *M. pyrifera* resultaría en una ganancia neta pequeña. Sin embargo, si se usaran como alimento complementario, el contenido de fibra ayudaría en el proceso digestivo.

Digestibilidad de la materia seca

Las mediciones de la digestibilidad ruminal dan una idea de cuales nutrientes del alga pueden ser asimilados por los rumiantes, mientras que el contenido de fibra cruda indica la materia no digerible (Manzano y Rosales, 1989). Así, un

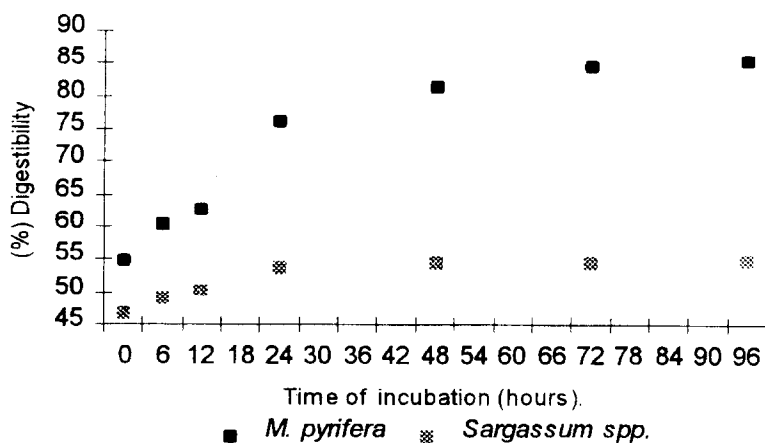


Figure 1. *In situ* ruminal digestibility of dry matter for *Macrocyctis pyrifera* and *Sargassum* spp.
Figura 1. Digestibilidad ruminal *in situ* de materia seca para *Macrocyctis pyrifera* y *Sargassum* spp.

Our estimated values of digestibility indicate that both macroalgae may be well assimilated by ruminants and that *M. pyrifera* is a better choice.

Protein degradability

Our *in situ* analysis of degradability of crude protein shows (fig. 2) that in *M. pyrifera*, the 8.4% determined in the proximal analysis was maintained during the whole incubation period. Likewise, the 5.99% protein content for *Sargassum* spp. remains the same throughout the 96 h. The small variations observed are considered negligible measurement errors. This indicates that the microbial enzyme activity responsible for the degradation of protein in the rumen (Sánchez, 1993) is not effective for the degradation of these particular algal proteins.

In view of the above, an *in vitro* analysis of protein degradability was carried out simulating protein degradation by bovine tripsin in the abomasum or true stomach. This showed that 90% of *M. pyrifera* protein and 95% of *Sargassum* spp. protein may be degraded within the abomasum (fig. 3), indicating that these are bypass proteins with a relatively higher value than in terrestrial

contenido alto de fibra muestra un valor nutritivo bajo, porque consiste principalmente de celulosa derivada de las paredes celulares del alga. Se observó una máxima digestibilidad de 85.36% para *M. pyrifera* a 96 h (fig. 1), la cual fue mejor que para *Sargassum* spp. y el forraje terrestre. De acuerdo con la fórmula 7, la interacción de la curva a la hora cero (*a*) fue 32.7, la degradabilidad potencial del componente *b* fue 53.9, y la tasa de degradación constante de *b* fue *c* = 0.03. Los valores para *Sargassum* spp. (fig. 1) fueron *a* = 8.17, *b* = 46.63 y *c* = 0.05, con una máxima digestibilidad de 54.86% después de 96 h.

En este estudio, los animales se alimentaron previamente (15 días) y durante el muestreo con alfalfa para incrementar la flora celulolítica bacteriana. Los valores estimados de la digestibilidad indican que ambas macroalgas pueden ser asimiladas adecuadamente por los rumiantes y que *M. pyrifera* es la mejor opción.

Degradabilidad de la proteína

Nuestro análisis de degradabilidad *in situ* de proteína cruda muestra (fig. 2) que para *M. pyrifera* el 8.4% estimado en el análisis proximal

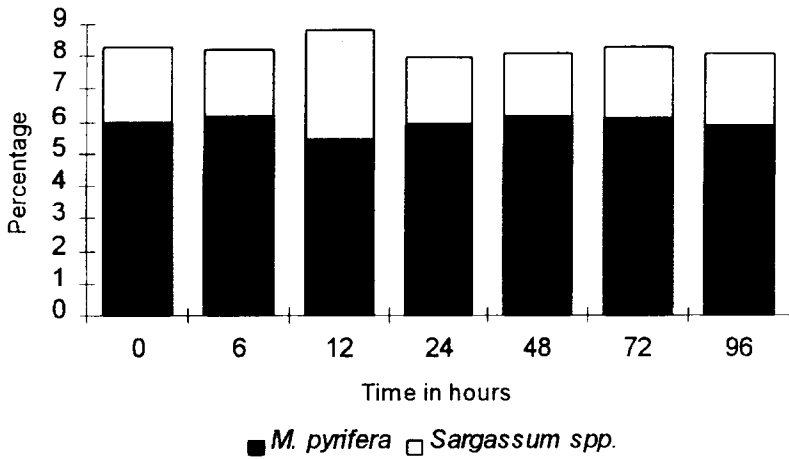


Figure 2. *In situ* degradability of crude protein for *Macrocyctis pyrifera* and *Sargassum* spp.

Figura 2. Degradabilidad *in situ* de proteína cruda para *Macrocyctis pyrifera* y *Sargassum* spp.

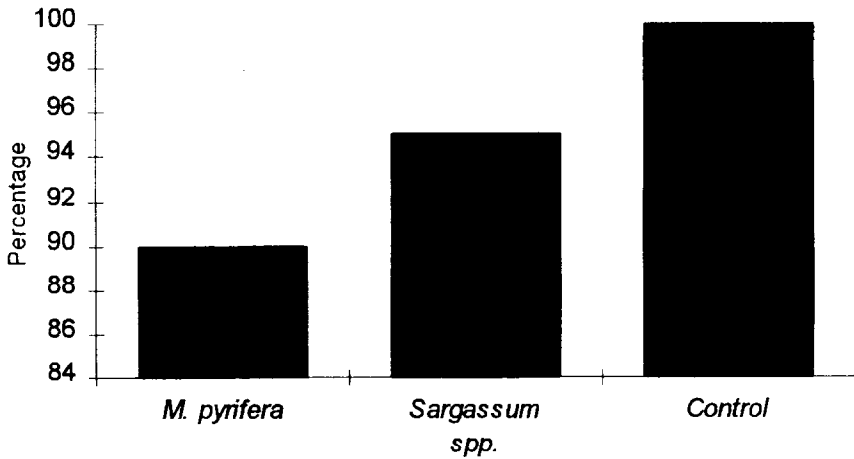


Figure 3. *In vitro* degradability of protein for *Macrocyctis pyrifera* and *Sargassum* spp. using bovine trypsin.

Figura 3. Degradabilidad *in vitro* de proteína para *Macrocyctis pyrifera* y *Sargassum* spp. utilizando tripsina bovina.

fodder (table 4). Thus, when using these macroalgae as forage there is no need for treatment of their proteins to maintain them intact when passing through the rumen, a common practice with livestock meal (Lynch *et al.*, 1987). In this way, feeding seaweed meals yields a better response in animal production in terms of protein supply for ruminants (Shimada *et al.*, 1986).

Degradability of minerals

The *in situ* degradability of minerals for *M. pyrifera* shows that up to 81% disappear at time zero just by diffusion (fig. 4), and that another 3% follows in the next 6 h. The rest remains constant until the final period. *Sargassum* spp. behaves likewise: 78% is gone at time zero, with a maximum degradability after the 6-h incubation period with only 4% more. Thus, *M. pyrifera* and *Sargassum* spp. can be considered an adequate alternative for supplying the minerals needed for the healthy growth of livestock. An analysis of the mineral composition of the remaining or non-digested sample is necessary to determine what specific minerals are indeed assimilated, and if the high concentrations of several minerals in these seaweeds could add any particular benefit to the animals.

Another question is: why are the phosphorus and magnesium contents in *Sargassum* spp. much higher than in other seaweeds used as fodder or as manure? In Bahía de La Paz, the nearby mining of phosphoric rock could be related to the phosphorus content in our samples, but analyses of populations from elsewhere are required.

The distribution of *M. pyrifera* reaches as far south as Punta San Pablo, Baja California Sur, and maximum standing crops are reached during summer (Hernández-Carmona *et al.*, 1990), at least during normal years. The arrival of strong El Niño events every three to seven years wipes out most of these populations of *Macrocystis*. On the other hand, tropical *Sargassum* spp. can be found all along the coasts of Baja California Sur, with maximum abundances at the end of spring and in summer (Hernández-Carmona *et al.*, 1990;

se mantuvo durante todo el periodo de incubación. Así mismo, el contenido de proteína para *Sargassum* spp. de 5.99% se mantuvo igual durante las 96 h. Las pequeñas variaciones observadas se consideran errores insignificantes de medición. Esto indica que la actividad enzimática microbiana responsable de la degradación de la proteína en el rumen (Sánchez, 1993) no es efectiva en la degradación de estas proteínas algales en particular.

En virtud de lo anterior, se llevó a cabo un análisis *in vitro* de la degradabilidad de proteína, simulando degradación de proteína por tripsina en el abomaso o estómago verdadero. Esto demostró que el 90% de la proteína de *M. pyrifera* y el 95% de *Sargassum* spp. pueden degradarse dentro del abomaso (fig. 3), lo que indica que éstas son proteínas de sobrepaso, con un valor relativo más alto que el del forraje terrestre (tabla 4). Por lo tanto, cuando se usan estas macroalgas como forraje, no hay necesidad de tratar sus proteínas para mantenerlas intactas cuando pasan por el rumen, lo cual es una práctica común con harina de ganado (Lynch *et al.*, 1987). De esta manera, el uso de harinas algales da un mejor resultado en la producción animal, en términos del aporte de proteínas para rumiantes (Shimada *et al.*, 1986).

Degradabilidad de los minerales

La degradabilidad *in situ* de los minerales para *M. pyrifera* muestra que hasta el 81% desaparece a la hora cero sólo por difusión (fig. 4), y que otro 3% desaparece en las próximas 6 h. El resto se mantiene constante hasta el último periodo. Lo mismo ocurre en *Sargassum* spp.: el 78% desaparece a la hora cero, con una máxima degradabilidad después del periodo de incubación de 6 h, con sólo 4% más. Así, *M. pyrifera* y *Sargassum* spp. se pueden considerar una alternativa adecuada para proveer los minerales necesarios para el crecimiento saludable del ganado. Un análisis de la composición mineralógica del remanente o de la muestra no digerida es necesario para determinar cuáles son los minerales específicos que sí se asimilan y si las concentraciones

Table 4. Percentage of protein in *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp. that is degraded in the abomasum. Estimates for this study and for commonly used fodder (Sniffen *et al.*, 1992). CP = crude protein; PDA = percentage that is degraded in the abomasum; ADPA = actual degradable percentage in the abomasum.

Tabla 4. Porcentaje de proteína en *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp. que se degrada en el abomaso. Estimaciones para este estudio y para forraje utilizado comúnmente (Sniffen *et al.*, 1992). CP = proteína cruda; PDA = porcentaje que se degrada en el abomaso; ADPA = porcentaje actual degradable en el abomaso.

Protein	<i>M. pyrifera</i>	<i>Sargassum</i>	Alfalfa	Cotton*	Corn	Sorghum	Buffel
CP	8.40	5.99	18.56	35.16	8.86	5.06	4.45
PDA	90	95	72	60	70	–	57
ADPA	7.56	5.69	13.36	21.09	6.20	–	2.53

* Cotton seed; mechanical extraction.
– No data available.

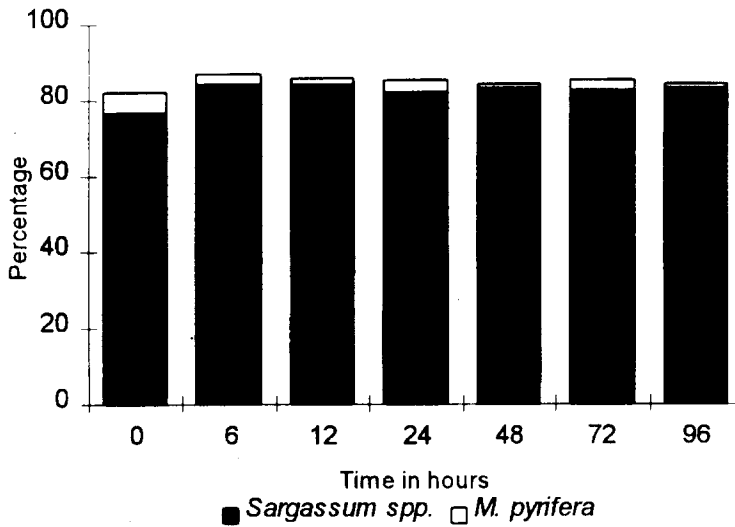


Figure 4. *In situ* degradability of minerals for *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp.

Figura 4. Degradabilidad *in situ* de minerales para *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp.

Casas-Valdez *et al.*, 1993). The eventual use of these macroalgae as fodder would depend on their availability in time and space.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are indebted to the personnel of the Departamento de Zootecnia, especially A. Monroy and J. Armenta, P. Higuera and C. Saldívar who helped in the experimental phase, and Rosa M. Ahumada from the Laboratorio de Alimentos Marinos. The proximal chemical analysis was done at the Laboratorio de Nutrición Animal of the Universidad Autónoma de Chihuahua. The *in vitro* analysis of crude protein using bovine trypsin was done at the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Samples and literature were provided by the Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR/IPN). Two anonymous reviewers helped to improve the manuscript.

REFERENCES

- AOAC (1975). Official Methods of Analysis. 12th ed. Association of Official Analytical Chemists., Washington, DC.
- Bold, C.H. and Wynne, M.J. (1985). Introduction to the Algae. Prentice-Hall, 706 pp.
- Casas-Valdez, M., Sánchez-Rodríguez, I. y Hernández-Carmona, G. (1993). Evaluación de *Sargassum* spp. en la costa oeste de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 8(2): 61-69.
- Castro-González, M.I. (1994). Composición química de *Macrocystis pyrifera* (sargazo gigante) recolectada en verano e invierno y su posible empleo en la alimentación animal. *Ciencias Marinas*, 20(1): 33-40.
- Chapman, V.J. and Chapman, D.J. (1980). Seaweeds and their Uses. Chapman and Hall, 334 pp.
- Dawes, J.C. (1991). *Botánica Marina*. Limusa, México, 673 pp.
- Dawson, E.Y. (1966). *Marine Botany*. Holt, Rhinehart and Winston, 371 pp.
- Garza, F. (1990). Técnicas para realizar la fistulación y canulación del esófago y del rumen. En: *Manual de Técnicas de Investigación de Rumiología*. Sistema

altas de varios minerales en estas algas pudieran aportar algún beneficio particular a los animales.

Otra pregunta es: ¿por qué son mayores los contenidos de fósforo y magnesio en *Sargassum* spp. que los de otras algas utilizadas como forraje o estiércol? En Bahía de La Paz, la minería de roca fosfórica puede estar relacionada con el contenido de fósforo en nuestras muestras, pero se requieren análisis de poblaciones de otros lugares.

La distribución sureña de *M. pyrifera* se extiende hasta Punta San Pablo, Baja California Sur, y las biomásas cosechables máximas se presentan durante el verano (Hernández-Carmona *et al.*, 1990), por lo menos durante años normales. El arribo de eventos fuertes de El Niño cada tres a siete años elimina casi todas estas poblaciones de *Macrocystis*. Por otra parte, se puede encontrar *Sargassum* spp. tropical a lo largo de las costas de Baja California Sur, con abundancias máximas al final de la primavera y en verano (Hernández-Carmona *et al.*, 1990; Casas-Valdéz *et al.*, 1993). El uso eventual de estas macroalgas como forraje dependería de su disponibilidad en el tiempo y espacio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal del Departamento de Zootecnia, especialmente a A. Monroy, J. Armenta, P. Higuera y C. Saldívar, quienes ayudaron durante la fase experimental, y a Rosa M. Ahumada del Laboratorio de Alimentos Marinos. El análisis químico proximal se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Chihuahua, y el análisis *in vitro* de proteína cruda con tripsina bovina en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). El Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR/IPN) proporcionó las muestras y la literatura. Los comentarios de dos revisores anónimos ayudaron a mejorar el manuscrito.

Traducido al español por Jennifer Davis.

- de Educación Continua en Producción Animal, México, pp. 231-242.
- Hernández-Carmona, G. (1985). Variación estacional del contenido de alginatos de tres especies de feofitas en Baja California Sur. *Inv. Mar. CICIMAR*, 2(1): 29-45.
- Hernández-Carmona, G., Casas-Valdez, Ma.M., Fajardo-León, C., Sánchez-Rodríguez, I. y Rodríguez-Montesinos, E. (1990). Evaluación de *Sargassum* spp. en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1): 11-18.
- Hernández-Carmona, G., Rodríguez-Montesinos, Y.E., Casas-Valdez, Ma.M., Vilchis, M.A. y Sánchez-Rodríguez, I. (1991). Evaluación de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta, Laminariales) en Baja California, México. III. Verano de 1986 y variación estacional. *Ciencias Marinas*, 17(4): 121-145.
- Jensen, A. (1972). The nutritive value of seaweed meal for domestic animals. In: K. Nisizawa (ed.), *Proc. 7th International Seaweed Symp.*, Sapporo, Japan, pp. 7-14.
- Jensen, A. (1977). Industrial utilization of seaweeds in the past, present and future. *Rep. Norwegian Inst. Seaweed Res., Univ. Trondheim*, No. 17, 143 pp.
- Jensen, A. and Haug, A. (1956). Geographical and seasonal variation in the chemical composition of *Laminaria hyperborea* and *Laminaria digitata* from the Norwegian coast. *Rep. Norwegian Inst. Seaweed Res., Univ. Trondheim*, No. 14, 20 pp.
- Lynch, G.L., Berger, L., Fahey, G.C., Mercheri, N.R. and Baker, E.C. (1987). Effect of heat and alcohol treatments of soy bean meal on nitrogen utilization by sheep. *J. Anim. Sci.*, 65: 235.
- Llamas, L.G. y Hernández, T.J. (1990). Técnicas de laboratorio para análisis de forraje para rumiantes. En: *Manual de Técnicas de Investigación de Rumiología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal*, México, pp. 29-48.
- Manzano M., R.E. y Rosales G., E. (1989). Aprovechamiento de las algas marinas *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum sinicola* en la alimentación humana y animal. Tesis de licenciatura, Universidad La Salle, México, DF, 109 pp.
- Martínez, B.A. (1980). La Ganadería en Baja California Sur. Ed. J. B. La Paz, BCS, México, 229 pp.
- Mateus, V.H. (1972). Estudio integral tecnológico sobre el aprovechamiento de *Macrocystis pyrifera* como complemento alimenticio aviar. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 75 pp.
- Muñetón-Gómez, M. y Hernández-Carmona, G. (1993). Crecimiento estacional de *Sargassum horridum* (Setchell y Gardner) Phaeophyta, en la Bahía de La Paz, BCS, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 8(1): 23-31.
- NRC (1984). Nutrient requirements of domestic animals, nutrient requirements of beef cattle. 6th ed. National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, DC, 65 pp.
- Nocek, J.E. and English, J.E. (1986). *In situ* degradation kinetics: evaluation of determination procedure. *J. Dairy Sci.*, 69: 77.
- Ocampo-García, J. (1981). Aprovechamiento del orujo de oliva y su posible utilización en la alimentación animal. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional Autónoma de México, 89 pp.
- Orskov, E.R. and MacDonald, I.C. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agricult. Sci.*, 92: 499.
- Orskov, E.R., Hovell, F.D. y Mould, F. (1980). El uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de alimentos. *Produc. Anim. Trop.*, 5: 123.
- Pacheco-Ruiz, I., Zertuche-González, J.A., Chee-Barragán, A. y Blanco-Betancourt, R. (1996). Distribución de mantos de *Sargassum* (Phaeophyta) a lo largo de la costa oeste del Golfo de California, México. Resumen, Segundo Congreso Mexicano de Ficología, Ensenada, BC.
- Peláez-Valdivia, P. (1988). Aporte de nutrientes de los principales ingredientes utilizados en la alimentación de bovinos en corral de engorda en el municipio de La Paz, Baja California Sur. Tesis de licenciatura, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, 58 pp.
- Rocha-Ramírez, V. y Siqueiros-Beltrones, D.A. (1990). Revisión de las especies del género *Sargassum* C. Agardh registradas para la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 16(3): 15-26.
- Rodríguez-Bernal, M.G. (1995). Las algas marinas *Sargassum sinicola* y *Ulva lactuca* como fuentes alternas de minerales y pigmentos en gallinas de postura. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 96 pp.

- Rodríguez-Montesinos, Y.E. y Hernández-Carmona, G. (1991). Variación estacional y geográfica de la composición química de *Macrocystis pyrifera* de la costa occidental de Baja California. *Ciencias Marinas*, 17(3): 91–103.
- Sánchez, D.F. (1993). Productividad agropecuaria. En: Plan de Estudios de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, pp. 9–16.
- SAS (1988). User's Guide: Statistics. 5th ed. Statistical Analysis System Institute, Cary, North Carolina, 921 pp.
- Secretaría de Pesca (1993). Anuario de Pesca. Secretaría de Pesca, México.
- Shimada, A.S., Rodríguez, F. y Cuarón, J.A. (1986). Engorda de Ganado Bovino en Corrales. Ed. Consultores en Producción Animal, México, 258 pp.
- Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G. and Russell, J.B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.*, 70: 3562–3577.
- Soto, S. (1995). Cinética de la digestión ruminal y la composición química de especies forrajeras en un matorral arbocrasicaulescente bajo condiciones desérticas. I. Invierno. Tesis de licenciatura, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, 87 pp.
- Tejada (1983). Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria. SARH-INIP, México, 714 pp.