



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



# EVALUACIÓN DE *Macrocystis pyrifera* COMO COMPLEMENTO ALIMENTICIO DE GANADO CAPRINO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN  
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

NIDIA ARIZBEL MORA CASTRO

LA PAZ, B.C.S., SEPTIEMBRE DE 2006.



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 02 del mes Agosto del año 2006, el (la) que suscribe NIDIA ARIZBEL MORA CASTRO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B041196 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DRA. MA. MARGARITA CASAS VALDEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "EVALUACIÓN DE *Macrocystis pyrifera* COMO COMPLEMENTO ALIMENTICIO DE GANADO CAPRINO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: nidiamoracastro@yahoo.com.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
NIDIA ARIZBEL MORA CASTRO

nombre y firma



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 13:00 horas del día 09 del mes de Junio del 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

**"EVALUACIÓN DE *Macrocystis pyrifera* COMO COMPLEMENTO ALIMENTICIO DE GANADO CAPRINO"**

Presentada por el alumno:

**MORA**  
Apellido paterno

**CASTRO**  
materno

**NIDIA ARIZBEL**  
nombre(s)

Con registro: 

B	0	4	1	1	9	6
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

  
DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ

PRESIDENTE

  
DRA. SILVIE DUMAS

SECRETARIO

  
MC. RUTH NOEMI AGUILA RAMÍREZ

SEGUNDO VOCAL

  
DR. HUGO HERNANDEZ CONTRERAS

TERCER VOCAL

  
DRA. LEONOR SANGINÉS GARCÍA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



## DEDICATORIA

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos en primera instancia a mi Padres, Ruben Mora Espinoza y Elva Macrina Castro Nieblas por inculcarme el deseo de superación y de lucha y enfrentar sin temor a la vida misma.

A mi madre por ser mi fuente de inspiración para alcanzar mis metas.

A mis hermanos (Annaluisa y Juan de Dios), por compartir grandes momentos y apoyarnos siempre en las buenas y en las malas.

A Oscar Iram, por alentarme en los momentos más difíciles y por ser un gran apoyo a lo largo de los últimos cuatro años.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por haberme permitido continuar con mi superación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyt) por haberme brindado un soporte económico durante la realización de mi tesis de maestría, así como también al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI del IPN).

A la Dra. Margarita Casas Valdez por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su equipo de trabajo durante dos años y de quien me siento muy orgullosa por ser una mujer “líder” en toda la extensión de la palabra.

Gracias a mis amigos del laboratorio de Macroalgas, de la UABCS y del INNSZ, Margarita Casas, Noemí Aguilar, Sonia Rodríguez, Alejandro Marín, Ignacio Sánchez, Ranferi Gutiérrez, Hugo Hernández, Leonor Sanginés y Silvia Carrillo por su valiosa ayuda en la realización del experimento y en todo lo que les fue posible.

También quiero agradecer a mi comité revisor conformado por la Dra. Margarita Casas, la M.C. Noemí Aguila, el Dr. Hugo Hernández, la Dra. Silvie Dumas y la Dra Leonor Sanginés, por su contribución en la redacción de la tesis; así como también al Dr. Agustín Hernández por su participación en el examen de grado.

Gracias a Erasmo, encargado de la Posta Zootécnica de la UABCS, quien siempre estuvo dispuesto y al tanto de cualquier imprevisto durante el experimento.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vii
GLOSARIO.....	ix
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. OBJETIVOS.....	11
4.1 General	
4.2 Específicos	
5. HIPÓTESIS.....	11
6. METODOLOGÍA.....	12
6.1 Recolecta del alga <i>Macrocystis pyrifera</i> .....	12
6.2 Formulación y elaboración de las dietas experimentales.....	12
6.3 Análisis químico proximal.....	13
6.4 Diseño experimental para las pruebas de digestibilidad <i>in vivo</i> e <i>in situ</i> de la materia seca.....	13
6.5 Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia seca.....	14
6.6 Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca.....	16
6.7 Determinación de pH y nitrógeno amoniacal en rumen.....	19
6.8 Análisis estadísticos.....	20
7. RESULTADOS.....	21
7.1 Análisis químicos proximales.....	21
7.1.1 <i>Macrocystis pyrifera</i> .....	21
7.1.2 Dietas experimentales.....	22
7.2 Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia seca.....	23
7.2.1. Consumo de alimento.....	23
7.2.2 Consumo de agua.....	23
7.2.3. Excreción de orina.....	24
7.2.4. Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia seca.....	24
7.3 Digestibilidad <i>in vivo</i> de diferentes compuestos de las dietas analizadas.....	25
7.4 Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca.....	26
7.5 Cinética de desaparición <i>in situ</i> de la materia seca de las dietas experimentales.....	27
7.6 Digestibilidad <i>in situ</i> de <i>M. pyrifera</i> .....	28

7.7 Variación de pH en rumen.....	29
7.8 Variación de nitrógeno amoniacal en rumen.....	30
8. DISCUSIÓN.....	32
8.1 Análisis químico proximal de <i>Macrocystis pyrifera</i> y dietas experimentales.....	32
8.2 Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia seca.....	36
8.2.1 Consumo de alimento.....	36
8.2.2 Consumo de agua y excreción de orina.....	37
8.2.3 Digestibilidad <i>in vivo</i> .....	38
8.3 Digestibilidad <i>in vivo</i> de diferentes compuestos de las dietas.....	39
8.3.1 Digestibilidad del nitrógeno.....	39
8.3.2 Digestibilidad de cenizas (minerales).....	40
8.3.3 Digestibilidad de fibra neutro detergente (FDN).....	40
8.4 Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca.....	41
8.5 Cinética de desaparición <i>in situ</i> de la materia seca.....	42
8.6 Digestibilidad <i>in situ</i> de <i>Macrocystis pyrifera</i> .....	44
8.7 Determinación de pH en rumen.....	45
8.8 Determinación de nitrógeno amoniacal en rumen.....	46
9. CONCLUSIONES.....	49
10. RECOMENDACIONES.....	50
11. LITERATURA CITADA.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición de las dietas utilizadas en el experimento.....	12
<b>Tabla 2.</b> Composición química de la harina de <i>Macrocystis pyrifera</i> (% en base seca).....	21
<b>Tabla 3.</b> Contenido de minerales en el alga (base seca).....	22
<b>Tabla 4.</b> Análisis químico proximal y energía de las dietas.....	23
<b>Tabla 5.</b> Digestibilidad <i>in vivo</i> de las dietas.....	25
<b>Tabla 6.</b> Digestibilidad <i>in vivo</i> de nitrógeno, cenizas y FDN de las dietas analizadas.....	26
<b>Tabla 7.</b> Variación del porcentaje de digestibilidad <i>in situ</i> en las horas de muestreo de cada dieta.....	27
<b>Tabla 8.</b> Cinética de desaparición <i>in situ</i> de la materia seca de las dietas experimentales.....	28
<b>Tabla 9.</b> Digestibilidad <i>in situ</i> del alga en los cuatro periodos de muestreo a las 72 horas.....	29
<b>Tabla 10.</b> Variación de pH entre horas y entre dietas en los cuatro periodos de muestreo.....	30
<b>Tabla 11.</b> Variación del nitrógeno amoniacal entre horas y entre dietas en los cuatro periodos de muestreo.....	31



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diseño experimental cuadrado latino 4 x 4.....	14
<b>Figura 2.</b> Jaula metabólica.....	15
<b>Figura 3.</b> Secado de las heces.....	16
<b>Figura 4.</b> Grupos de bolsitas con las cuatro dietas experimentales y el alga sola para cada periodo experimental.....	18
<b>Figura 5.</b> Incubación de cada una de las dietas.....	18
<b>Figura 6.</b> Lavado de las bolsitas.....	18
<b>Figura 7.</b> Obtención de líquido ruminal.....	19
<b>Figura 8.</b> Filtrado de líquido ruminal sobre hielo.....	19
<b>Figura 9.</b> Consumo de agua y excreción de orina de cada una de las dietas experimentales durante los cuatro periodos de muestreo.....	24

## Evaluación de *Macrocystis pyrifera* como complemento alimenticio de ganado caprino

### Resumen

Se tiene la necesidad de buscar alternativas alimenticias que ayuden a sufragar la escasez del alimento consumido por el ganado caprino. El alga marina *Macrocystis pyrifera*, se considera de interés como recurso potencial para la alimentación animal, dada su abundancia y composición química. El objetivo de este trabajo fue evaluar la harina de *M. pyrifera* como complemento alimenticio de ganado caprino. Se evaluaron una dieta testigo con 0% del alga y tres dietas con concentraciones de 10, 20 y 30% de la harina del alga, incluyendo otros ingredientes como alfalfa, maíz, pasta de soya, urea y sebo. Se utilizaron cuatro cabras con cánula ruminal distribuidas al azar utilizando un diseño de cuadrado latino 4 x 4 en jaulas metabólicas. Se midió el consumo de alimento y agua, las heces y la orina excretadas, así como también se determinaron la digestibilidad *in vivo*; la desaparición de materia seca mediante la técnica de la bolsa de nylon; la cinética de desaparición de la materia seca y los parámetros metabólicos pH y nitrógeno amoniacal en rumen. No hubo diferencia significativa en el consumo de alimento y en la orina excretada, y se encontró diferencia en el consumo de agua ( $p < 0.05$ ). En la digestibilidad *in vivo* no se encontró diferencia significativa entre las dietas ( $p > 0.05$ ), sin embargo la mayor digestibilidad *in vivo* se obtuvo con el 30% del alga (83.60%). En la digestibilidad *in situ* los tratamientos que mostraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) a la hora 96 que fue la hora máxima de incubación, fueron las dietas con inclusión del 10% (76.0%) con respecto al 30% (82.2%) del alga. En la cinética de desaparición de la materia seca no se encontró diferencia significativa entre las dietas con respecto a la tasa de digestión (kd), mostrando una fracción potencialmente digestible de 52.92 y 64.27%, con una tasa de digestión de 0.022 a 0.032  $\text{h}^{-1}$ . La digestibilidad *in situ* del alga pura fue de un 77%. Se encontró diferencia significativa en los resultados de pH entre dietas. Los valores obtenidos en el pH favorecen el metabolismo y la replicación bacteriana, las cuales son las encargadas de la fermentación del alimento. El nitrógeno amoniacal no presentó diferencia

significativa entre dietas ( $p > 0.05$ ). El valor máximo encontrado fue de 312.50 mg/l. Los resultados sugieren que *M. pyrifera* representa un buen alimento no convencional como complemento alimenticio en ganado caprino, pudiendo utilizarse hasta un 30%.

## Evaluation of *Macrocystis pyrifera* as nutritional supplement for goats

### Abstract

There is a need to look for nutritional alternatives to help support a shortage of the food consumed by goats. The marine alga *Macrocystis pyrifera* is of interest as a potential resource for animal feed given its abundance and chemical composition. Our objective was to evaluate meal made from *M. pyrifera* as a nutritional supplement for goats. We evaluated a control diet lacking this alga and three diets with concentrations of 10%, 20%, and 30% of the algal meal and including other ingredients; alfalfa, corn, soybean, urea, and tallow. Four goats with ruminal cannulae, were kept in metabolic cages, and were randomly distributed in a replicate 4 x 4 Latin-Square design experiment. We measured food and water intake, urina and feces excreted, determined the digestibility *in vivo*, the disappearance of dry matter using a nylon bag technique, and the metabolic variables of pH and ammonia nitrogen in the rumen. There was no significant difference in food intake and urina excreted, but there was significant difference in water intake. There was no significant difference of the digestibility *in vivo* among diets ( $P > 0.05$ ) though an apparent greater digestibility *in vivo* was obtained with the 30% algal diet (84%). For digestibility *in situ* the treatments that showed a significant difference ( $P < 0.05$ ) at hour 96 of the testing, which was the maximum hour of incubation, were the algal diets of 10% (76%) and 30% (82%). The kinetic disappearance of the dry matter showed no significant difference between diets in the rate of digestion (kd), showing a potentially digestible fraction between 53% to 64% and a rate of digestion between 0.022 to 0.032 h<sup>-1</sup>. The digestibility *in situ* of the pure alga was 77%. We found a significant difference of pH among diets. Ruminal pH was greater in all treatments fed with kelp. This pH favors the metabolism and bacterial replication, which are ordered the fermentation of the food. Ammonia nitrogen did not show any significant difference between diets ( $P > 0.05$ ). We found a maximum value of 312 mg/L. In general the results suggest *M. pyrifera* represents a good unconventional food as a

nutritional supplement for goats, with these animals being able to use up to a 30% supplement.

## GLOSARIO

*Algas.* Las algas son los vegetales pluricelulares más sencillos, ya que su estructura está formada por el talo, que es una agrupación de células con cierta diferenciación, similares a hojas, raíces o tallos. No poseen por lo tanto, tejidos, vasos conductores, hojas ni raíces, pero ciertas partes de la planta asumen funciones específicas. Poseen plastos ricos en clorofila y otros pigmentos. La reproducción se realiza en fases alternas, sexual y asexualmente. Las algas pueden ser algas rojas o Rodofíceas; algas pardas o Feofíceas y algas verdes o Clorofíceas.

*Bacterias ruminales.* Las bacterias del rumen son las encargadas de realizar varias de las funciones vitales para el desarrollo del huésped (rumiante). El rumen puede incluir entre  $10^{10}$  y  $10^{11}$  bacterias/ml, y más del 75% se asocia a partículas alimenticias. La densidad general no varía con la dieta, pero el número de las diferentes especies está afectado a la disponibilidad del sustrato para la fermentación.

*Celulosa.* La celulosa es la sustancia más abundante en el reino vegetal y es el mayor componente estructural de las paredes celulares de las plantas. Desde el punto de vista químico, es un polímero de unidades de glucosa unidas por enlaces del tipo  $\beta$ -1,4, lo que la hace extremadamente resistente a la degradación enzimática, aunque puede ser hidrolizada a glucosa por ácidos fuertes. Puede o no estar combinada con lignina. Si bien, ninguna enzima de los mamíferos la desdobla, sí pueden hacerlo los hongos y las bacterias del rumen.

*Energía bruta.* La energía bruta (EB), o “calor de combustión” es la cantidad de calor producido por la oxidación completa del forraje, alimento u otras sustancias, y se mide en un aparato denominado bomba calorimétrica de oxígeno. Los valores energéticos de los diferentes alimentos para ganado o nutrimentos varían, pero los valores característicos son (Mcal/Kg): carbohidratos, 4.10; proteínas, 5.65 y grasas 9.45. Las diferencias entre estos nutrientes reflejan principalmente el estado de oxidación del compuesto inicial. Así, por ejemplo, un monosacárido característico

como la glucosa tiene una fórmula de  $C_6H_{12}O_6$ , o sea un átomo de oxígeno/átomo de carbono, mientras que una molécula de grasa como la triestearina, tiene 6 átomos de O y 57 de C; por consiguiente, la grasa necesita más oxígeno para llevar a cabo la oxidación y libera mucho más calor durante el proceso.

*Fibra ácido detergente (FAD).* Es el material insoluble en una solución detergente ácida, y está constituida fundamentalmente por celulosa y lignina, aunque suelen existir otros componentes minoritarios como nitrógeno y/o minerales. La diferencia entre FND y FAD consiste fundamentalmente en hemicelulosa.

*Fibra neutro detergente (FND).* Es el material insoluble en una solución detergente neutra, y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Además existen otros componentes minoritarios como residuos de almidón, cenizas y nitrógeno.

*Hemicelulosa.* No es, como su nombre lo sugiere, la mitad de la celulosa. Es una mezcla compleja, heterogénea de un gran número de diferentes polímeros de monosacáridos incluyendo glucosa, xilosa, manosa, arabinosa y galactosa. Es el principal componente de las paredes celulares de las plantas.

*Lignina.* La lignina es un compuesto no carbohidrato que da el soporte estructural a las paredes celulares de las plantas y como tal se trata en forma extensiva con los carbohidratos. La lignina se encuentra en las plantas leñosas como las mazorcas, cáscaras y las porciones fibrosas de raíces, tallos y hojas. Las maderas duras contienen más lignina que cualquier otra planta. Su contenido aumenta conforme madura la planta y sus ligaduras químicas, en especial con hemicelulosa y celulosa, reducen en forma notable la digestibilidad de éstos.

*Macroelementos.* Son considerados macroelementos o macrominerales a causa de las cantidades relativamente elevadas que precisan los animales. Estos son calcio, fósforo, azufre, potasio, sodio, cloro y magnesio.

*Metabolismo.* El metabolismo es el conjunto de reacciones bioquímicas común en todos los seres vivos, que ocurren en las células, para la obtención e intercambio de materia y energía con el medio ambiente y síntesis de macromoléculas a partir de compuestos sencillos con el objetivo de mantener los procesos vitales (nutrición, crecimiento, relación y reproducción) y la homeostasis.

*Microelementos.* Los microelementos o microminerales se encuentran constituidos por el hierro, zinc, cobre, manganeso, yodo, cobalto, molibdeno y selenio. Son llamados de esa forma a causa de las cantidades más reducidas que se precisan, y por sus concentraciones generalmente bajas que aparecen en los tejidos.

*Rumiante.* Un rumiante es un animal que posee cuatro compartimientos especializados ó “estómagos” adaptados para digerir alimentos fibrosos como zacates, henos y ensilajes. Un rumiante puede utilizar arriba del 50-80% de forrajes y henos en la dieta, aspecto que no se da en los monogástricos donde su principal dieta es a base de granos.



## 1. Introducción

En la región norte de México se lleva a cabo la crianza de ganado menor, como el caprino de manera extensiva (aporta el 26% de la carne de canal y el 68% de la leche del país) debido a la aptitud de estas tierras para agostadero, así como a la adaptación de esta especie animal a climas áridos y semiáridos y a la incorporación de nuevos ingredientes en su alimentación (Genin & Pijoan, 1993). Baja California Sur es uno de los estados en donde se lleva a cabo la caprinocultura, siendo ésta una de sus principales actividades económicas, particularmente en los municipios de Comondú y Mulegé (Salcido & Olachea, 1993). No obstante, enfrenta una serie de problemas en cuanto a condiciones climatológicas y ecológicas particulares, debido a que Baja California Sur se encuentra situado dentro de la zona árida de México lo que hace que presente una cubierta vegetal escasa, de difícil aprovechamiento (S. A. R. H., 1979); esto aunado al sobrepastoreo, la erosión del suelo y la invasión de plantas tóxicas que han reducido la producción de forraje en los agostaderos y por consecuencia la producción del ganado (Sánchez, 1984).

Paradójicamente, existe una rica base de recursos vegetales (González-Espinoza et al., 1981; Soto et al., 1988) cuyo empleo es factible para la alimentación animal. Entre estos recursos se encuentran las algas marinas *Sargassum* spp. y *Macrocystis pyrifera* también conocida como sargazo gigante, las cuales se consideran de interés como recurso potencial para la alimentación animal, dada su abundancia y composición química (Castro-González et al., 1994).

Los valores cosechables de *Sargassum* spp. y *M. pyrifera* en las costas de la Península de Baja California son aproximadamente de 180 000 t (Hernández et al., 1990; Casas-Valdez et al., 1993; Pacheco et al., 1998) y 100 000 t (Hernández et al., 1991), respectivamente. En cuanto a su composición química *M. pyrifera* según Castro-González et al. (1994) presenta un contenido de 8.81% de proteína cruda, 46% de carbohidratos, 0.60% de extracto etéreo, 7.71% de fibra cruda, 37 % de cenizas y 2.20 Mcal/Kg de energía bruta mientras que *Sargassum* spp. contiene

7.7% de proteína cruda, 38% de carbohidratos, 1.9% de extracto etéreo, 9% de fibra cruda, 31% de cenizas y 2.13 Mcal/Kg de energía bruta (Casas-Valdez et al., 2006). Estas dos algas, pertenecientes al Orden de las Laminariales y Fucales, respectivamente, son consideradas por el Nacional Research Council (NRC, 1984) como alimentos energéticos, ya que tienen un contenido menor a 20% de proteína, 18% de fibra cruda y 35% de paredes celulares (o de fibra neutro detergente).

La harina de *Sargassum* spp. ha sido utilizada como suplemento en dietas para gallinas ponedoras mejorando la calidad del huevo y disminuyendo el contenido de colesterol (Meza, 1998), recientemente, Marín et al. (2003) y Casas-Valdez et al. (2006) la utilizaron en la alimentación de ovejas y cabras, respectivamente, con buenos resultados a nivel metabólico y en los parámetros productivos de estos animales.

Aunque se conoce la composición química de *Macrocystis pyrifera*, no es suficiente para determinar si el alga puede ser utilizada como complemento alimenticio de ganado caprino, por lo que es necesario llevar a cabo pruebas de digestibilidad y conocer los cambios que pueden sufrir los parámetros ruminales para determinar su valor nutricional.

## 2. Antecedentes

Las zonas ganaderas de México se localizan en cinco grandes regiones: árida y semiárida, templada, tropical húmeda, tropical seca y montañosa (Dibene-Arriola, 1989). El noroeste de nuestro país se encuentra situado dentro de la zona árida del país, arriba del Trópico de Cáncer, lugar donde se localizan los grandes desiertos del mundo, en consecuencia, las precipitaciones pluviales son escasas y en ocasiones nulas; los climas en estas regiones son extremadamente secos y calurosos, limitando con ello el desarrollo biológico de la flora y la fauna (González-León, 1981).

Las condiciones agronómicas y climatológicas para la utilización de los agostaderos se dan solamente en un 43% de la superficie del estado de Baja California Sur, formando los pastos anuales el 20% de la dieta total del ganado, el estrato principal que sustenta la ganadería estatal son las arbustivas y herbáceas (Martínez, 1981).

Los organismos herbívoros se clasifican en fermentadores pregástricos ó rumiantes y postgástricos. Los caprinos, junto con los bovinos, ovinos y cérvidos son rumiantes cuya fermentación pregástrica permite utilizar los forrajes de una manera más eficiente, ya que se fermentan y se degradan químicamente en el rumen antes de pasar al intestino delgado, donde ocurren la mayoría de las absorciones de nutrimentos (Haenlein & Caccese, 1992).

El sistema digestivo de los rumiantes se compone de boca, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso, recto y ano. El estómago está dividido en cuatro compartimentos: rumen, retículo y omaso que son considerados como preestómagos y abomaso. *El rumen* es conocido como panza o herbario, es un órgano musculoso, rugoso y ovoide que se extiende desde el diafragma a la pelvis llenando casi por completo el lado izquierdo de la cavidad abdominal. Este

compartimento es muy importante debido a que la estrategia alimentaria de los rumiantes se basa en la simbiosis establecida entre los microorganismos que se encuentran en el rumen y el animal. Mientras el rumiante aporta alimentos y las condiciones adecuadas del medio (temperatura, pH, anaerobiosis, remoción de los desechos no digeribles, entre otros) las bacterias utilizan parcialmente los alimentos haciendo útiles los forrajes (de otra forma indigestibles para los mamíferos) y aportan productos de la fermentación con valor nutritivo para el rumiante (los ácidos grasos volátiles) y la proteína microbiana (Calsamiglia & Ferret, 2002). *El retículo*, conocido como redcilla, forma una unidad estructural y digestiva con el rumen con el que se comunica a través del atrio vestibular y con el omaso por el orificio retículo-omasal. La función principal del retículo es coleccionar el alimento que ha sido lo suficientemente fermentado para transportarlo hacia el omaso. *El omaso*, conocido como librillo, posee dos orificios, el retículo omasal antes citado y el omaso-abomasal que, como su nombre indica, comunica el omaso con el abomaso. Durante el paso de la ingesta por el omaso los procesos de fermentación microbiana no se detienen. Su función es, sin embargo, la absorción de agua, sales minerales y ácidos grasos contenidos en la ingesta. *El abomaso* es el estómago glandular donde se inicia la digestión de los alimentos sobre la base de las enzimas digestivas del animal. En el duodeno, que es la primera porción del *intestino delgado* se vierten las secreciones digestivas biliares y pancreáticas, las que, en unión con los jugos gástrico e intestinal, desdoblan los nutrientes de la ingesta en sus formas absorbibles. *En el intestino grueso* se lleva a cabo la absorción de agua; es así como el total de materia seca del contenido intestinal aumenta desde 7% en el sector próximo del intestino grueso hasta un 15 a 18% en las heces. *El recto* sirve como una bolsa de depósito, donde se almacenan excrementos en el intervalo de las defecaciones. *El ano* es la abertura posterior del tubo digestivo (Calderón, 1979).

Al ganado caprino generalmente se le relaciona con el ramoneo, sobrepastoreo, terrenos inaccesibles y como un animal destructor de la vegetación. Sin embargo, el único responsable de lo anterior es el hombre, debido a que también pueden destruir al pastizal bovinos, ovinos, equinos, etc., siempre y cuando el mismo

hombre lo permita con un mal manejo de los animales y el agostadero. Lo que realmente ocurre es que la cabra hace un mejor aprovechamiento de los pastos. Es decir, los caprinos penetran en bajíos boscosos o suben terrenos inaccesibles donde para los bovinos sería difícil subir; y la cabra aprovecha, además del pasto, otras arbustivas y hierbas que no son consumidas por el ganado bovino (Peñuñuri, 1986). De este modo, las cabras reflejan su importancia en los muchos propósitos para los cuales son destinadas: carne, leche, producción de pieles y otros productos misceláneos (Devendra, 1971).

La población mundial de cabras es de alrededor de 375 millones de cabezas de las cuales, 262 millones o más se encuentran en los trópicos y sub-trópicos. Entre las demás especies, la caprina es probablemente la más ampliamente distribuida y se localiza en países que se encuentran en todas las zonas climáticas de los trópicos. En México, la explotación de los caprinos se realiza principalmente en los estados del norte y noroeste como Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa. Los estados del norte aportan un 26% de la carne en canal y 68% de leche, mientras que los estados del noroeste aportan un 6% de la carne en canal y un 7% de leche del total nacional (INEGI, 2003).

La caprinocultura es una de las principales actividades económicas en Baja California Sur, especialmente en los municipios de Comondú y Mulegé. Esta actividad se enfrenta a una serie de problemas; sin embargo, el factor alimenticio es uno de los más limitantes ya que las explotaciones están supeditadas a las escasas precipitaciones pluviales (Salcido & Olachea, 1993).

*Macrocystis pyrifera* o sargazo gigante es un recurso ecológica y económicamente importante, domina las aguas de la costa oeste del Norte y Sudamérica, formando extensos bosques o mantos que proveen hábitat, refugio y alimento a numerosas especies con valor comercial, como abulón, langosta y erizo (Ladah et al., 1999). Esta alga se cosecha en California, Baja California y en Perú debido a que su pared celular contiene alginatos, además de obtenerse harinas para alimento en maricultivos, principalmente de abulón (Casas-Valdez et al., 2003a).

En México, las poblaciones de *Macrocystis pyrifera* se encuentran distribuidas a lo largo de la costa oeste de Baja California desde la frontera con E.U.A. hasta Punta Prieta, con mantos aislados en el norte de Punta San Hipólito Baja California Sur (Edwards & Hernández-Carmona, 2005).

La cosecha total estimada para los mantos de *Macrocystis pyrifera* en la Península de Baja California en invierno de 1985-86 fue de  $35,813 \pm 4,528$  t, en primavera de 1986 se incrementó en 138.5% llegando a  $87,096 \pm 2,260$  t, y en verano, el incremento fue de 12.3% alcanzando un valor de  $97,804 \pm 6,331$  t. Las estaciones más productivas son primavera y verano (Hernández et al., 1991).

Además de la composición química de *M. pyrifera*, también se han evaluado los factores antinutricios y los metales pesados que pudiera contener esta alga, los cuales podrían mermar o disminuir su potencial como recurso para la alimentación animal y humana. Castro-González et al. (1994) analizaron cualitativamente algunos factores antinutricios tales como hemaglutininas, saponinas, glucósidos cianogénicos, taninos y alcaloides, de los cuales solamente se detectó la presencia de taninos y una cantidad moderada de alcaloides. Price et al. (1980) y Van Soest (1982) mencionaron que aun el mayor valor encontrado por estos autores, que fue de 34.20 mg/g de ácido tánico, no implicaría problema si fuera consumida por animales debido a que no alcanza niveles tóxicos. Esta dosis es inferior a la que presentan algunos frutos, ya que la cantidad de taninos varía entre 0.2 y 1 g por 100 g de peso

fresco, así como también de algunas verduras cuyas cantidades se encuentran entre 0.5 y 2 g (Derache, 1990). Cruz-Suárez et al. (2000) analizaron las concentraciones para plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en *M. pyrifera* por formar parte de los elementos traza más tóxicos, encontrando valores de <1 ppm para el Cd, <0.001 ppm para el Hg, mientras que la presencia del Pb no fue detectada. Es evidente que estas concentraciones tan pequeñas no son suficientes para originar una toxicidad en animales, incluso en el hombre. Ya que como lo mencionaron Hernández & Aguirre (1993) solo dosis de Pb entre 200 y 400 mg/kg de peso vivo en terneros y entre 600 y 800 mg/kg de peso vivo en adulto podría causarles la muerte. Los casos de toxicidad aguda del Hg se presentan en cantidades de 0.5 ppm, cuya sintomatología se presenta como una deficiencia renal con cambios histopatológicos en el tejido de los riñones lo cual puede llegar a causar la muerte. Por otra parte, los autores mencionaron que el perfil de aminoácidos de esta alga destaca por contener elementos esenciales para diversas especies, como alanina, leucina y lisina y no esenciales como ácido glutámico y aspártico, considerándose como una fuente de proteína complementaria.

La mayoría de las algas aprovechadas en alimentación animal son usadas en forma de harina, para complementar las dietas de los animales. Algunas algas como *Ascophyllum nodosum* y *Laminaria digitata* aumentan la pigmentación de la yema del huevo, incrementan el crecimiento y producción de lana de los borregos, así como el contenido de grasa en la leche de vaca (Rojkind, 1977; Chapman & Chapman, 1980).

Marín (1999) realizó un estudio utilizando el alga *Sargassum* spp. como complemento alimenticio para el ganado ovino, sus dietas estuvieron compuestas de alfalfa, granos de maíz, pasta de soya, urea y sebo. Encontró que la digestibilidad *in vivo* y la desaparición *in situ* de la materia seca, no son afectadas al utilizar hasta una concentración de 30% de esta alga en cada ración, así mismo tampoco se afectaron los perfiles de variación de pH, nitrógeno amoniacal y ácidos grasos. Dichos

resultados, aunados a la escasa presencia de factores antinutricios y a la prueba de comportamiento realizada, muestran que *Sargassum* spp. puede utilizarse como alimento de ganado ovino en una concentración óptima de 25% (Marín et al., 2003).

Casas-Valdez et al. (2003b) concluyeron que, al utilizar una inclusión de hasta un 29% de *Sargassum* spp. en la alimentación de cabras, con una composición de las dietas muy similar a la utilizada por Marín, no son afectadas la digestibilidad *in vivo* y la desaparición *in situ* de la materia seca así como los perfiles de variación de pH, nitrógeno amoniacal y ácidos grasos. Se comprobó que esta alga se puede utilizar en porcentajes elevados (25%) en la alimentación de cabras en crecimiento sin causar efectos negativos en su desarrollo corporal (Casas-Valdez et al., 2006).

Minson (1982) señala que si bien es cierto que el valor nutritivo potencial de un alimento puede ser determinado a través de un análisis químico proximal, no se puede conocer el valor real del mismo para los animales, debido a que con ese análisis no se puede conocer las pérdidas inevitables que ocurren durante la digestión, absorción y metabolismo. Es por ello que el análisis de la digestibilidad de un alimento es muy importante debido a que existen moléculas diferentes, algunas de fácil digestión y absorción y otras que son resistentes a la degradación bacteriana y enzimática y por ende excretadas en las heces, por lo que este tipo de análisis marca la diferencia entre la evaluación cuantitativa y la cualitativa.

El término digestibilidad expresa el porcentaje de todo el alimento o de un componente de éste en particular, el cual no es excretado por el animal, suponiendo que es aprovechado y absorbido, y comúnmente, es expresado en función de materia seca y como porcentaje de coeficiente de digestibilidad (Sanginés, 1998)



Existen diferentes métodos para determinar la digestibilidad de un forraje o ración en los rumiantes:

Digestibilidad *in vivo*: es la proporción del alimento consumido que supuestamente es absorbido en el tracto gastrointestinal por no aparecer en las heces. Normalmente se expresa como coeficiente de digestibilidad y se calcula en base a la materia seca ingerida. Este método proporciona la digestibilidad aparente, debido a que considera a los nutrimentos encontrados en las heces como las únicas pérdidas que ocurren en el tracto digestivo, además de que parte de las sustancias que aparecen en las heces no son de origen alimenticio (enzimas, secreciones glandulares, bacterias, etc.) (Maynard et al., 1986; Shimada, 1983).

Digestibilidad *in situ* ó desaparición *in situ*: proporciona valores estimados de la tasa de desaparición de los constituyentes alimenticios en el rumen y se determina mediante la técnica de la bolsa de fibra artificial. Esta técnica tiene la ventaja de dar una estimación rápida de la tasa y el grado de degradación de los alimentos en el rumen. Además, el material alimenticio se encuentra suspendido en el rumen, estando en íntimo contacto con el ambiente ruminal (temperatura, pH, sustrato, enzimas, etc.) (Orskov et al., 1980).

Las bolsas de nylon empleadas para esta evaluación son introducidas en los rumiantes a través de cánulas flexibles, las cuales son colocadas quirúrgicamente a nivel ruminal, permitiendo un mejor acceso a la zona de muestreo para la extracción de las infusiones a estudiar (Harmon & Richards, 1997).

### 3. Justificación

En la producción primaria uno de los factores más importantes son las condiciones climáticas de las diferentes regiones de México. En los estados del noroeste de México como Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora, principalmente, la sobreexplotación y el manejo inadecuado de buena parte de las tierras de pastoreo así como las prolongadas y recurrentes sequías de los últimos años han causado daños severos a la vegetación de los agostaderos, generando una desertificación y degradación de los terrenos (Ibarra-Flores et al., 2003). Ello mismo produce efectos negativos en la producción pecuaria, entre estos a la caprinocultura, a pesar de esto, se lleva a cabo la crianza extensiva de este ganado menor.

Siendo este problema de naturaleza urgente, se tiene la necesidad de buscar alternativas alimenticias que ayuden a sufragar la escasez del alimento consumido por el ganado caprino. Para ello, se pretende considerar al alga *Macrocystis pyrifera* para utilizarla como un complemento alimenticio en la dieta, ya que es un recurso potencial para la alimentación animal debido a su abundancia y composición química (Castro-González et al., 1994), además de que resulta de interés evaluar la digestibilidad de un recurso energético no convencional y el efecto que tiene sobre las variables de fermentación ruminal como el pH y nitrógeno amoniacal.

## 4. Objetivos

### 4.1 General

Evaluar la harina de *Macrocystis pyrifera* como complemento alimenticio en ganado caprino.

### 4.2 Específicos

- a) Conocer la composición química de *M. pyrifera*.
- b) Evaluar la digestibilidad *in vivo* e *in situ* de la materia seca utilizando dietas experimentales.
- c) Determinar la cinética de desaparición *in situ* de la materia seca.
- d) Evaluar la digestibilidad *in situ* de la materia seca de *M. pyrifera*.
- e) Determinar las variaciones de las variables de fermentación ruminal (pH y nitrógeno amoniacal).

## 5. Hipótesis

La inclusión de *M. pyrifera* en concentraciones de 10, 20 y 30% en dietas de ganado caprino, mejorará en forma creciente la digestibilidad *in vivo* e *in situ* y tendrá un efecto favorable en los perfiles de pH y nitrógeno amoniacal en rumen.

## 6. Metodología

### 6.1 Recolecta del alga *Macrocystis pyrifera*

La harina de *M. pyrifera* fue proporcionada por la empresa Productos del Pacífico, S.A de C.V. El alga fue cosechada en mantos cercanos a Ensenada, B.C por el barco “El Sargacero”, el cual dispone en la proa de una rampa rectangular abatible, provista de un sistema de cuchillas aserradas que funcionan semejante a unas tijeras. Estas se encuentran al frente y a los lados de la rampa, que es operada para el corte a una profundidad aproximada de 1.20 m. Una banda de la propia rampa recibe el sargazo cortado y lo transporta al depósito de almacenamiento con una capacidad de 350 toneladas métricas de producto húmedo (De la Campa, 1974). Su deshidratación es por exposición al aire y al sol durante varios días seguido de un proceso de molienda.

### 6.2 Formulación y elaboración de las dietas experimentales

Para la determinación de la digestibilidad *in vivo* e *in situ* de la materia seca se utilizaron: una dieta testigo con 0% del alga y tres dietas con concentraciones de 10, 20 y 30% de la harina de *M. pyrifera*, estas incluyeron además otros ingredientes como alfalfa, maíz, pasta de soya, urea y sebo (Tabla 1). Estas dietas fueron isoproteicas e isocalóricas y se formularon con el Programa NUTRION™ (2002).

Tabla 1. Composición de las dietas utilizadas en el experimento.

Ingrediente (%)	Dieta Testigo	Dieta (10%)	Dieta (20%)	Dieta (30%)
Alfalfa	50.40	54.35	49.25	34.90
Maíz Grano	32.50	26.10	19.42	23.17
<i>M. pyrifera</i>	-----	10.00	20.00	30.00
Pasta de Soya	14.80	6.75	8.40	9.54
Urea	0.003	0.003	0.002	0.003
Sebo	2.00	2.77	2.88	2.33

### **6.3 Análisis químico proximal**

Se llevaron a cabo los siguientes análisis químicos tanto a la harina del alga *M. pyrifera* como a las dietas experimentales: humedad (en una estufa de secado a 60° C a peso constante), cenizas (en una mufla eléctrica a 550° C) y extracto etéreo (en un aparato Soxhlet) de acuerdo a los métodos establecidos por la Association of Analytical Chemistry (A. O. A. C., 1999). El contenido de nitrógeno total se determinó usando el método de micro-Kjeldahl (en un aparato Tecator) (A.O.A.C., 1999); para calcular el contenido de proteína se utilizó un factor de conversión de 6.25. La fibra cruda se analizó de acuerdo con el método de Van Soest descrito por Tejada (1985) y energía bruta mediante la bomba calorimétrica de Parr. Además, a la harina del alga se le realizaron otros análisis químicos como la determinación de minerales por absorción atómica y las fracciones de fibra (Fibra ácido detergente (FDA), Fibra neutro detergente (FDN), Celulosa, Hemicelulosa y Lignina) de acuerdo al método de Van Soest descrito por Tejada (1985).

### **6.4 Diseño experimental para las pruebas de digestibilidad *in vivo* e *in situ* de la materia seca**

Se trabajó con cuatro cabras machos cruzados de raza Nubia con un peso promedio de 42 kg y 3 años de edad; éstos estuvieron dotados con una cánula ruminal de dos pulgadas de diámetro interno Plastisol 2", Bar Diamond, Inc. Ferreiro (1986) y permanecieron alojados en jaulas metabólicas durante el experimento. Estas jaulas están provistas de colectores de heces y orina así como alimentador y contenedor de agua, y se encuentran bajo techo y sobre piso de cemento. Las cabras se trataron con antihelmínticos al inicio del experimento y se distribuyeron al azar utilizando un diseño cuadrado latino 4 x 4 (Steel & Torrie, 1988), o sea, cuatro dietas con cuatro repeticiones, lo que permitió que cada una tuviera una dieta diferente en cada uno de los cuatro periodos de estudio (Fig. 1).

		Cabras			
		1	2	3	4
Periodos	I	A	B	C	D
	II	B	C	D	A
	III	C	D	A	B
	IV	D	A	B	C

Figura 1. Diseño experimental cuadrado latino 4 x 4.

Dietas: A = 0% del alga, B = 10% del alga, C = 20% del alga, D = 30% del alga.

Cada periodo experimental tuvo una duración de 15 días, de los cuales 10 fueron de adaptación al alimento y 5 de recolección de muestras. El experimento se llevó a cabo en la Posta Zootécnica de la Universidad Autónoma de Baja California Sur ubicada en la carretera al sur Km 5.5 en la Paz, B. C. S., México.

### 6.5 Digestibilidad *in vivo* de la materia seca

Para la determinación de la digestibilidad *in vivo*, las cabras fueron alimentadas con 600 g de dieta a las 8:00 y 18:00 horas. Diariamente se cuantificó el alimento rechazado, el agua consumida, las heces y la orina excretadas.

El alimento consumido es la diferencia entre la cantidad de alimento ofrecido y el rechazado; estos fueron pesados en una balanza granataria (Ohaus) con precisión de  $\pm 0.1$  g. El consumo de agua se midió utilizando una probeta graduada con precisión  $\pm 1$  mL, con la cual se reponía el agua del contenedor de cada jaula (Fig. 2).

Las heces se reunieron del colector de la jaula y de las que se encontraban en el piso, se colocaron en costales para su secado al sol (Fig. 3) y se pesaron por día en una balanza granataria (Ohaus) con precisión de  $\pm 0.1$  g.

Para cada tratamiento se reunieron las heces que fueron recolectadas durante todo el periodo de muestreo, de éstas se seleccionó un 10% para la determinación de humedad, cenizas y nitrógeno de acuerdo a los métodos establecidos por la A. O. A. C. (1999), además se determinó la fracción de fibra neutro detergente de acuerdo al método de Van Soest descrito por Tejada (1985).

La orina colectada se midió con una probeta graduada con precisión  $\pm 1$  mL. Las jaulas metabólicas facilitaron la colecta de la orina debido a que se encuentran provistas de una lámina en la parte inferior que permite un descenso por gravedad hacia el colector (Fig. 2).

El coeficiente de digestibilidad *in vivo* se calculó utilizando de la fórmula siguiente:

$$CD = \frac{C - E}{C} \times 100$$

Donde: CD = Coeficiente de digestibilidad (%); C = Cantidad de materia seca o del nutrimento "x" consumido; E = Cantidad de materia seca o del nutrimento "x" excretado.

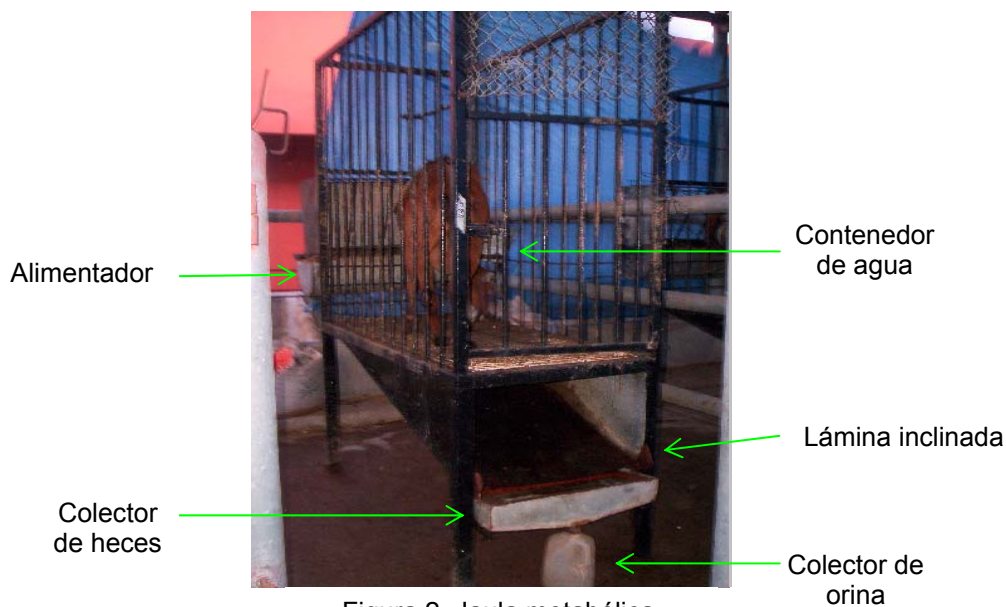


Figura 2. Jaula metabólica.



Figura 3. Secado de las heces.

### 6.6 Digestibilidad *in situ* de la materia seca

La evaluación de la digestibilidad *in situ* se realizó a través de cánulas flexibles que permiten un acceso directo al rumen de los animales, facilitando los estudios de nutrición y la obtención de pequeñas muestras de contenido ruminal (Garza, 1990). Para este estudio, se siguió la técnica de la bolsa de nylon (Orskov et al., 1980), las cuales tuvieron un tamaño de 12 x 8 cm y una porosidad promedio de 1200 a 1600 orificios/cm<sup>2</sup>. Los bordes de las bolsas fueron unidos por una doble costura y las esquinas redondeadas para evitar la acumulación del alimento (Mehrez & Orskov, 1977).

Las bolsas fueron lavadas y secadas en una estufa a 60° C, hasta obtener un peso constante; el tamaño de muestra introducida a las bolsitas fue de 5 g de cada una de las dietas molidas y tamizadas a 1 mm (dietas experimentales con inclusión de 10%, 20% y 30% del alga, dieta testigo y harina de *M. pyrifera*). Posteriormente fueron cerradas con una liga en el extremo superior y amarradas en grupos de 10 bolsitas a un hilo de nylon grueso con un espacio de 5 cm; en cada periodo experimental se tuvieron cuatro grupos de bolsitas con una dieta diferente (Fig. 4) y cada grupo se introdujo al rumen a través de la cánula (Fig. 5), de tal manera que al final del experimento cada una de las cabras recibió una dieta diferente. Así mismo,



al segundo día de cada periodo de muestreo, fueron introducidas cuatro bolsitas con el alga sola a cada una de las cabras (Fig. 4).

Los periodos de incubación de las dietas en cada periodo experimental fueron de 0, 3, 6, 9, 12, 24, 30, 36, 48, 72 y 96 horas, mientras que los del alga pura fueron hasta la hora 72. El tiempo 0 de cada tratamiento se determinó incubando las bolsitas en una solución de NaCl 0.15 N a 37° C durante 5 minutos.

Una vez que las bolsitas fueron extraídas del rumen se lavaron cinco veces con una duración de un minuto cada lavado; este consistió en una agitación constante de manera manual como se muestra en la figura 6. Posteriormente se secaron a una temperatura de 60° C durante 48 horas, se enfriaron en un desecador y se pesaron.

Para el cálculo de la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%DISMS = \frac{(\text{peso bolsa + muestra antes de incubar} - \text{peso bolsa después de incubar})}{\text{Peso de la muestra en gramos}} \times 100$$

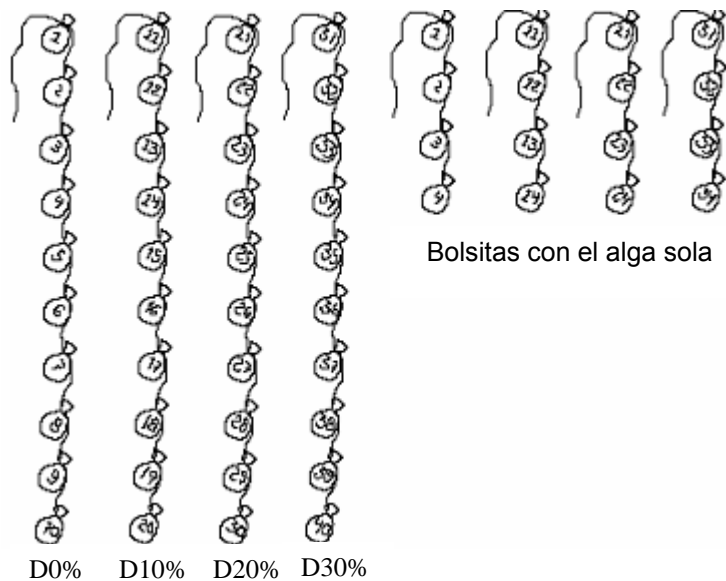


Figura 4. Grupos de bolsitas con las cuatro dietas experimentales y el alga sola para cada periodo experimental.



Figura 5. Incubación de cada una de las dietas.



Figura 6. Lavado de las bolsitas.

Los resultados de la digestibilidad *in situ* de la materia seca fueron ajustados a la siguiente ecuación:  $P = a + b (1 - e^{-ct})$  (Orskov & McDonald, 1979) mediante el programa Neway Excel, donde: P representa la materia seca a un tiempo de degradación  $t$ ;  $(a + b)$  representa la degradabilidad potencial y  $c$  es la tasa de degradación.

### 6.7 Determinación de pH y nitrógeno amoniacal en rumen

Durante los primeros tres días del periodo de muestreo, se realizaron extracciones de muestras de rumen a las 0, 3, 6, 9 y 12 horas. Las muestras se obtuvieron presionando la panza de la cabra para extraer el líquido y residuos del forraje, estas se recibieron en un recipiente cubierto con tela de nylon de malla fina (Fig. 7) y se filtraron sobre hielo (Fig. 8), con la finalidad de disminuir el crecimiento bacteriano. Inmediatamente después, se midió el pH con un potenciómetro ORION 701A, con un electrodo CORNING.

Para la obtención de nitrógeno amoniacal se tomaron submuestras en botellas de plástico de 30 ml y a cada una de ellas se les agregó 0.12 ml de HCl 0.02 N. El análisis de nitrógeno amoniacal se llevó cabo por medio del método de destilación (INNSZ, 1984).



Fig. 7. Obtención de líquido ruminal.



Fig. 8. Filtrado de líquido ruminal sobre hielo.

## 6.8 Análisis estadísticos

Los resultados de la digestibilidad *in vivo*, cinética de desaparición *in situ*, consumo de alimento, agua y excreción de orina fueron analizados mediante un análisis de varianza para un diseño de cuadrado latino 4 x 4 (Gill, 1978). La diferencia entre medias se analizó empleando la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 mediante los procedimientos PROC GLM con el programa Statistical Analysis System (SAS, 1985). El modelo para este diseño es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = a las diferentes variables de respuesta;  $\mu$  = el efecto de la media general;  $\tau_i$  = es el efecto del i-ésimo tratamiento;  $\beta_j$  = es el efecto del j-ésimo periodo;  $\gamma_k$  = es el efecto de la k-ésima repetición;  $E_{ijk}$  = error aleatorio asociado con la unidad en el i-ésimo tratamiento.

Para las variables de pH y nitrógeno amoniacal se realizó un análisis de medidas repetidas (Johnson & Wichern, 1990) por medio del paquete estadístico S.A.S. (1985). El modelo utilizado es el siguiente:

$$Y_{ijr} = \mu + \tau_{ir} + E_{ijr}$$

Donde:

$Y_{ijr}$  = pH en el j-ésimo animal en el i-ésimo tratamiento;  $\mu$  = media general;  $\tau$  = efecto del tratamiento;  $i$  = i-ésimo tratamiento ( $i=1, \dots, 4$ );  $j$  = j-ésima observación;  $r$  = r-ésimo periodo de observación;  $E_{ijr}$  = error aleatorio asociado con la unidad en el i-ésimo tratamiento.

Para las variables de la digestibilidad del nitrógeno, cenizas y fibra neutro detergente, se utilizó el programa Statistica versión 6 y se aplicó una prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis).

## 7. Resultados

### 7.1 Análisis químicos proximales

#### 7.1.1 *Macrocystis pyrifera*

En el análisis químico proximal realizado a la harina de *M. pyrifera* se hace evidente que los componentes con un mayor porcentaje fueron las cenizas, seguidas del extracto libre de nitrógeno y las proteínas, mientras que los lípidos presentaron los menores valores (Tabla 2).

Tabla 2. Composición química de la harina de *Macrocystis pyrifera* (% en base seca).

FRACCION	CANTIDAD
Humedad	7.66 ± 0.23
Cenizas	46.80 ± 0.28
Proteínas	12.77 ± 0.12
Lípidos	0.22 ± 0.01
Fibra cruda	5.99 ± 0.21
E. L. N.	34.22
Energía Mcal/Kg	2.04 ± 0.73
FDN	19.9
FDA	12.6
Hemicelulosa	7.3
Celulosa	8.6
Lignina	3.6

E. L. N.: Extracto libre de nitrógeno; FDN: Fibra neutro detergente; FDA: Fibra ácido detergente

En los minerales obtenidos en el alga destacan los macroelementos como el sodio (Na) y el potasio (K), y en menores cantidades se encuentran los microelementos como el cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn) (Tabla 3). Considerando los requerimientos de minerales para las cabras adultas, se

observa que las cantidades de los macroelementos presentes en el alga cubren satisfactoriamente tales requerimientos.

Tabla 3. Contenido de minerales en el alga (base seca).

FRACCIÓN	CANTIDAD	REQUERIMIENTOS PARA CABRAS ADULTAS <sup>1</sup>
Macroelementos		
(mg/g)		(mg/g)
Na	48.4	0.6-1.0
Mg	12.9	0.8-2.5
Ca	15.4	1.8-3.3
K	93.4	1.8-2.5
Microelementos		
(mg/kg)		(mg/kg)
Cu	1.77	8-10
Fe	717.33	30-40
Mn	10.54	30-40
Zn	12.24	40-50
Pb	N.D.	X

<sup>1</sup>(Moya-Rodríguez et al., 2002)

### 7.1.2 Dietas experimentales

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en el análisis químico proximal y de energía de las dietas. El contenido de cenizas aumentó en la medida en que se incrementó la concentración del alga en la dieta, por el contrario, el contenido de fibra cruda disminuyó. Mientras que las demás fracciones así como en el análisis calculado de las fibras neutro y ácido detergente y lignina se observa que son muy similares entre las dietas, destacando que en la dieta con el 30% del alga se presenta el menor contenido de FDA y lignina.

Tabla 4. Análisis químico proximal y energía de las dietas.

FRACCION	DIETA TESTIGO	DIETA 10%	DIETA 20%	DIETA 30%
Humedad (%)	7.02 ± 0.06	6.79 ± 0.08	7.19 ± 0.13	6.89 ± 0.01
Proteína (%)	19.55 ± 0.29	19.20 ± 0.18	19.55 ± 0.17	19.35 ± 0.23
Extracto Etéreo (%)	4.69 ± 0.03	5.36 ± 0.09	3.90 ± 0.06	4.05 ± 0.18
Cenizas (%)	10.93 ± 0.11	17.17 ± 0.15	18.56 ± 0.08	20.35 ± 0.18
Fibra cruda %()	13.58 ± 0.28	8.73 ± 0.23	7.93 ± 0.04	6.62 ± 0.14
E. L. N.	51.26	49.54	50.06	49.63
ENERGIA (Mcal/Kg)	4.01 ± 0.15	3.76 ± 0.13	3.88 ± 0.11	3.58 ± 0.6
FDA (%)	21.25	21.65	19.74	14.65
FDN (%)	26.77	26.84	24.28	28.75
Lignina (%)	5.65	5.62	5.12	4.82

E.L.N.: Extracto libre de nitrógeno.

## 7.2 Digestibilidad *in vivo* de la materia seca

### 7.2.1 Consumo de alimento

No se encontró diferencia significativa en el consumo de alimento entre las dietas experimentales ( $p > 0.05$ ) (Tabla 5).

### 7.2.2. Consumo de agua

En la figura 8 se muestra la cantidad de agua consumida en cada tratamiento, se observa que hubo diferencia significativa entre la dieta testigo con respecto a las dietas con el 20% y 30% ( $p < 0.05$ ) del alga, no así con la dieta del 10% ( $p > 0.05$ ); mientras que las dietas elaboradas con el alga no mostraron diferencia significativa entre sí ( $p > 0.05$ ). En promedio, la cantidad de agua consumida en la dieta testigo fue de 5.6 l, en la dieta con el 10% fue de 7.3 l, en la dieta con el 20% fue de 8.16 l y en la dieta con el 30% del alga, el consumo fue de 9.19 l por día.

### 7.2.3. Excreción de orina

La orina excretada en cada una de las dietas no mostró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) (Fig. 9). En promedio, la orina excretada en la dieta testigo fue de 1.8 l, en la dieta con el 10% fue de 2.5 l, en la dieta con el 20% fue de 3.1 l y en la dieta con el 30% del alga fue de 3.4 l por día.

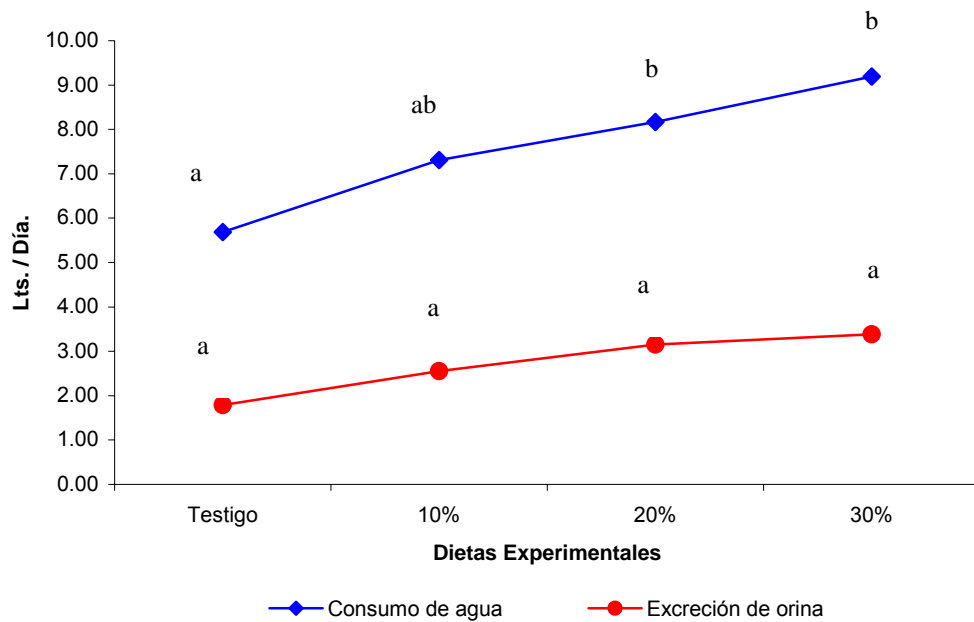


Figura 9. Consumo de agua y excreción de orina de cada uno de las dietas experimentales durante los cuatro periodos de muestreo. Para cada variable, letras distintas indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

### 7.2.4. Digestibilidad *in vivo* de la materia seca

No se encontró diferencia significativa en la digestibilidad *in vivo* entre las dietas ( $p > 0.05$ ) (Tabla 5), de tal manera que se considera que esta digestibilidad fue similar para todas las dietas.



Tabla 5. Digestibilidad *in vivo* de las dietas.

	DTestigo	D10%	D20%	D30%	Prob.
Consumo de materia seca (kg)	1.18 <sup>a</sup> ± 0.02	1.2 <sup>a</sup> ± 0.00	1.17 <sup>a</sup> ± 0.05	1.17 <sup>a</sup> ± 0.05	0.45
*DIVMS (%)	83.2 <sup>a</sup> ± 2.36	82.4 <sup>a</sup> ± 2.72	82.4 <sup>a</sup> ± 1.58	83.6 <sup>a</sup> ± 2.39	0.36

Letras iguales en el mismo renglón indican que no hubo diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). \*DIVMS: Digestibilidad *in vivo* de la materia seca.

### 7.3 Digestibilidad *in vivo* de diferentes compuestos de las dietas analizadas

La digestibilidad del nitrógeno fue disminuyendo conforme se incrementó la inclusión del alga, encontrando diferencia significativa entre la dieta con el 30% (87.39%) con respecto a las dietas testigo (90.12%), 10 (90.82%) y 20% (88.75%) del alga ( $p < 0.05$ ). En la digestibilidad de cenizas se encontró diferencia significativa entre la dieta testigo (76.95%) con respecto a las dietas con el 10 (71.65%) y 30% (82.89%) del alga ( $p < 0.05$ ). En la digestibilidad de la FDN se encontró diferencia significativa entre la dieta testigo con respecto a las elaboradas con el alga, y entre estas fue mayor en la que se incluyó 30% (83.5%) (Tabla 6).

Tabla 6. Digestibilidad *in vivo* de nitrógeno, cenizas y FDN de las dietas analizadas.

	DTestigo	D10%	D20%	D30%
Consumo de N (g/día)	31.88	31.49	31.35	30.98
Nitrógeno en heces (g/día)	3.14	2.89	3.52	3.9
Digestibilidad %	90.12 <sup>a</sup>	90.82 <sup>a</sup>	88.75 <sup>b</sup>	87.39 <sup>c</sup>
Consumo de cenizas (g/día)	129.6	206.04	217.14	238.84
Cenizas en heces (g/día)	29.8	58.42	48.51	40.80
Digestibilidad % (g/día)	76.95 <sup>b</sup>	71.65 <sup>c</sup>	77.68 <sup>b</sup>	82.89 <sup>a</sup>
Consumo de FDN (g/día)	317.5	322.1	284.8	343.0
FDN en heces (g/día)	61.3	82.5	73.3	56.1
Digestibilidad %	80.6 <sup>b</sup>	74.4 <sup>c</sup>	74.2 <sup>c</sup>	83.5 <sup>a</sup>

a,b,c Medias con distinta lateral en el mismo renglón indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

FDN: Fibra neutro detergente.

#### 7.4 Digestibilidad *in situ* de la materia seca

Con respecto a la digestibilidad *in situ* las dietas presentaron una tendencia similar de incremento conforme aumentan las horas de muestreo o periodos de incubación, por lo que se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre algunas horas de medición de cada una de las dietas. Mientras que en cada una de las horas de incubación no se encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las dietas, a excepción de la hora 96 en donde se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la dieta con el 10% (76.04%) con respecto a la dieta con el 30% (82.2%) de inclusión del alga (Tabla 7).

Tabla 7. Variación del porcentaje de digestibilidad *in situ* en las horas de muestreo de cada dieta.

Dietas	Horas de muestreo										
	0	3	6	9	12	24	30	36	48	72	96
Testigo	5.3 <sup>a</sup>	33.2 <sup>b</sup>	38.7 <sup>bc</sup>	42.4 <sup>bc</sup>	45.4 <sup>c</sup>	55.5 <sup>d</sup>	60.5 <sup>de</sup>	64.3 <sup>ef</sup>	67.5 <sup>fg</sup>	74.5 <sup>g</sup>	78.5 <sup>gAB</sup>
10%	6.1 <sup>a</sup>	25.2 <sup>b</sup>	30.3 <sup>bc</sup>	33.0 <sup>bc</sup>	36.9 <sup>c</sup>	46.0 <sup>d</sup>	50.6 <sup>de</sup>	56.0 <sup>ef</sup>	66.0 <sup>fg</sup>	73.2 <sup>g</sup>	76.0 <sup>gB</sup>
20%	9.2 <sup>a</sup>	28.7 <sup>b</sup>	33.9 <sup>bc</sup>	37.5 <sup>bc</sup>	39.2 <sup>c</sup>	53.2 <sup>d</sup>	57.2 <sup>de</sup>	61.5 <sup>ef</sup>	68.9 <sup>fg</sup>	74.5 <sup>g</sup>	78.3 <sup>gAB</sup>
30%	8.9 <sup>a</sup>	31.8 <sup>b</sup>	34.5 <sup>bc</sup>	40.2 <sup>bc</sup>	42.7 <sup>c</sup>	54.9 <sup>d</sup>	62.5 <sup>de</sup>	68.4 <sup>ef</sup>	76.5 <sup>fg</sup>	80.7 <sup>g</sup>	82.2 <sup>gA</sup>

\*Medias de 4 determinaciones.  $p = 0.00$

abcdefg, medias con letras distintas en el mismo renglón indican diferencia estadísticamente significativa entre las horas de cada dieta ( $p < 0.05$ ).

AB, medias con letras distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa entre dietas ( $p < 0.05$ ).

### 7.5 Cinética de desaparición *in situ* de la materia seca de las dietas experimentales

En la tabla 8 se pueden observar las diferentes variables analizadas para la cinética de digestibilidad *in situ* de la materia seca. Las dietas experimentales durante los cuatro periodos de muestreo muestran que la fracción soluble (a), la cual representa la porción de materia seca que se solubiliza al inicio de la incubación (hora 0), fue aumentando en las dietas elaboradas con el alga sin encontrar diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con respecto a la dieta testigo, cuyo valor fue mayor.

Es importante señalar que aunque la dieta con el 10% del alga presentó el máximo valor de fracción potencialmente digestible (b) no se encontró diferencia significativa entre las dietas elaboradas con el alga, pero sí se encontró diferencia significativa con respecto a la dieta testigo, cuyo valor fue menor. En cuanto a la degradabilidad potencial, no hubo diferencia significativa entre las dietas. Otro punto importante es que a una menor tasa de degradación se obtuvo una mayor degradación efectiva, la cual aumentó conforme se incrementó el alga en la dieta.

Tabla 8. Cinética de desaparición *in situ* de la materia seca de las dietas experimentales.

	DIETAS EXPERIMENTALES				Prob.
	DTestigo	D10%	D20%	D30%	
Fracción soluble (a) (%)	29.45 <sup>a</sup>	21.37 <sup>a</sup>	23.3 <sup>a</sup>	24.45 <sup>a</sup>	0.23
Fracción potencialmente digestible (b) (%)	52.92 <sup>b</sup>	64.27 <sup>a</sup>	61.0 <sup>ab</sup>	62.85 <sup>a</sup>	0.01
Kd (h <sup>-1</sup> ) (c)	0.030 <sup>a</sup>	0.022 <sup>a</sup>	0.029 <sup>a</sup>	0.032 <sup>a</sup>	0.30
Degradabilidad potencial (%)	82.40 <sup>a</sup>	85.62 <sup>a</sup>	84.30 <sup>a</sup>	87.30 <sup>a</sup>	0.65
Degradación efectiva a diferentes tasas de degradación (fracción /h):					
0.02	60.50 <sup>ab</sup>	54.92 <sup>c</sup>	58.42 <sup>bc</sup>	62.87 <sup>a</sup>	0.00
0.05	48.92 <sup>a</sup>	41.0 <sup>b</sup>	45.17 <sup>ab</sup>	48.80 <sup>a</sup>	0.00
0.08	43.67 <sup>a</sup>	35.27 <sup>b</sup>	39.27 <sup>ab</sup>	42.27 <sup>a</sup>	0.01

a = fracción inmediatamente soluble

b = fracción potencialmente digestible

c = tasa de degradación o digestión ruminal

\*Ecuación exponencial  $p = a + b(1 - e^{-ct})$

Letras diferentes en cada renglón indican diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ )

### 7.6 Digestibilidad *in situ* de *M. pyrifera*

Como se observa en la tabla 9 el porcentaje de desaparición de la materia seca del alga a la hora 72 (tres días de incubación) no presentó diferencia significativa entre los periodos de muestreo ( $p > 0.05$ ). En promedio, se obtuvo una digestibilidad del 77%.

Tabla 9. Digestibilidad *in situ* del alga en los cuatro periodos de muestreo a las 72 horas.

Digestibilidad <i>in situ</i> de <i>M. Pyrifera</i> (%)				
Animal	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
1	72.91	74.64	58.68	79.95
2	72.36	81.50	82.77	70.02
3	68.87	83.58	86.63	84.43
4	84.02	72.13	79.60	80.29
MEDIA	74.54 a	77.96 a	76.92 a	78.67 a

\*Medias con letras distintas significa diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

### 7.7 Variación de pH en rumen

El pH ruminal en cada una de las dietas experimentales mostró un patrón de comportamiento similar en cada una de las horas muestreadas, a la hora 0 el pH presentó valores cercanos a 7, disminuyó a la hora 3, presentando su máximo valor a la hora 9, disminuyendo nuevamente a la hora 12, tales disminuciones coinciden con los tiempos de alimentación que fueron a las 8:00 a.m. (inmediatamente después de colectar líquido ruminal a la hora 0) y a las 6:00 p.m. (correspondiente a la hora 10). Se encontró diferencia significativa en el pH entre las dietas ( $p < 0.05$ ) a las horas 3, 6, 9 y 12. A la hora 3 la diferencia se encontró entre la dieta testigo (6.62) con respecto a las dietas elaboradas con el alga 10, 20 y 30%; y entre estas dietas la diferencia fue entre la dieta con el 30% (6.87) con respecto a la dieta con el 10% (6.77) y 20% (6.80); en la hora 6 se presentó diferencia entre la dieta testigo (6.75) con respecto a las dietas del 20 (6.86) y 30% (6.90) del alga; en la hora 9 la diferencia fue entre la dieta testigo (6.80) con respecto a las dietas con el 10 (7.0) y 30% (7.0) del alga y a la hora 12 la dieta testigo (6.32) fue diferente con las dietas del 20 (6.64) y 30% (6.71) del alga; también se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre todas las horas de muestreo para cada dieta (Tabla 10).

Tabla 10. Variación de pH entre horas y entre dietas en los cuatro periodos de muestreo.

HORA	DTestigo	D10%	D20%	D30%	Prob.
0	7.03 <sup>Aa</sup>	7.11 <sup>Aa</sup>	7.08 <sup>Aa</sup>	7.08 <sup>Aa</sup>	0.7
3	6.62 <sup>Da</sup>	6.77 <sup>Db</sup>	6.8 <sup>Db</sup>	6.87 <sup>Dc</sup>	0.0001
6	6.75 <sup>Ca</sup>	6.8 <sup>Cab</sup>	6.86 <sup>Cb</sup>	6.9 <sup>Cb</sup>	0.0003
9	6.8 <sup>Ba</sup>	7.00 <sup>Bb</sup>	6.88 <sup>Bab</sup>	7.01 <sup>Bb</sup>	0.004
12	6.32 <sup>Ea</sup>	6.51 <sup>Eab</sup>	6.64 <sup>Eb</sup>	6.71 <sup>Eb</sup>	0.01
MEDIA	6.70 <sup>a</sup>	6.83 <sup>b</sup>	6.85 <sup>b</sup>	6.91 <sup>b</sup>	0.45
Prob.	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	

\* Medias de 4 determinaciones.

abc, medias distintas en el mismo renglón indican diferencia estadísticamente significativa entre dietas ( $p < 0.05$ ).

ABCDE, medias distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa entre horas ( $p < 0.05$ ).

### 7.8 Variación de nitrógeno amoniacal en rumen

En la tabla 11 se observa que la mayor cantidad de nitrógeno amoniacal en rumen se presentó a la hora 3:00 en todos los tratamientos. No se encontró diferencia significativa entre las dietas a cada hora de muestreo ( $p > 0.05$ ), así como tampoco entre las horas de muestreo de la dieta con el 20% del alga ( $p > 0.05$ ); pero si hubo diferencia significativa entre las horas de muestreo del resto de las dietas ( $p < 0.05$ ). En promedio, los valores mas bajos de nitrógeno amoniacal los presentó la dieta con el 30% de *M. pyrifera* y la dieta testigo presentó los valores más altos.

Tabla 11. Variación del nitrógeno amoniacal entre horas y entre dietas en los cuatro periodos de muestreo.

HORA	DTestigo	D10%	D20%	D30%	Prob.
0	328.12 <sup>Ba</sup>	307.30 <sup>Aa</sup>	327.25 <sup>Aa</sup>	303.70 <sup>Aa</sup>	0.64
3	401.2 <sup>Ab</sup>	282.10 <sup>Ab</sup>	309.75 <sup>Ab</sup>	233.10 <sup>Bb</sup>	0.79
6	297.15 <sup>Dc</sup>	195.65 <sup>Bc</sup>	267.07 <sup>Ac</sup>	204.05 <sup>Bc</sup>	0.62
9	232.22 <sup>Ed</sup>	205.45 <sup>Bd</sup>	250.60 <sup>Ad</sup>	233.30 <sup>Bd</sup>	0.92
12	304.50 <sup>Ce</sup>	271.60 <sup>Ae</sup>	303.62 <sup>Ae</sup>	207.55 <sup>Be</sup>	0.23
MEDIA	312.66 <sup>a</sup>	252.42 <sup>a</sup>	291.66 <sup>a</sup>	234.34 <sup>a</sup>	0.06
Prob.	0.0001	0.0001	0.2664	0.0006	

\* Medias de 4 determinaciones.

abcde, medias distintas en el mismo renglón indican diferencia estadísticamente significativa entre dietas ( $p < 0.05$ ).

ABCDE, medias distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa entre horas ( $p < 0.05$ ).

## 8. Discusión

### 8.1 Análisis químico proximal de *Macrocystis pyrifera* y dietas experimentales

El análisis químico proximal, también conocido como análisis Weende, resulta de suma importancia en el campo de la nutrición, así como en la industria de alimentos balanceados; ya que de esta manera se conoce el potencial nutritivo de los ingredientes con los cuales se puede elaborar un alimento que satisfaga los requerimientos nutricionales deseados o necesarios (Goytortúa et al., 1996).

En los resultados del análisis químico proximal de la harina de *M. pyrifera* se obtuvo un valor de humedad de 7.66% lo cual favorece el almacenamiento por mayor tiempo, sin que se lleve a cabo una actividad enzimática y microbiológica que pudiera reducir el valor nutritivo de la misma.

Las cenizas corresponden al material mineral contenido en el material biológico después de la combustión orgánica, y representan los cationes y aniones presentes, lo cual refleja que el alga vive en un ambiente marino. Según Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona (1991) la variación en el contenido de cenizas está en función del contenido de fucoídina, debido a que este polisacárido presente en las algas pardas, permite una mayor retención de agua de mar en las algas. En este sentido, el porcentaje de cenizas encontrado en este estudio (46.8%) fue muy similar al encontrado por González (1983) de 47.60 a 65.65%, pero muy superior al reportado por Gojón (1997) 36.07%, Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona (1991) 38.33% y Castro-González et al. (1994) 36.67%.

En cuanto a la cantidad de proteínas esta fue superior (12.77%) a lo reportado por Gojón (1997) 8.40% y Castro-González et al. (1994) 8.76%, y similar al valor máximo reportado por Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona (1991) 5.13 a 12.72%. Temporalmente, el contenido de proteínas de *M. pyrifera* varía muy poco con excepción a la estación de invierno, cuyo porcentaje es mayor (9.41) al encontrado en primavera (7.67%), verano (7.64%) y otoño (7.90%) en Ensenada



Baja California (Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona, 1991), donde el alga fue colectada para el presente trabajo. Así mismo, este valor fue superior al obtenido para el alga *Sargassum* spp. por diferentes autores: 5.99% (Gojón, 1997), 10% (Terrazas & Casas-Valdez, 1985) y 6.57% (Rodríguez-Bernal, 1995).

Con respecto a los lípidos, el valor obtenido fue bajo (0.22%) en comparación con lo encontrado por Castro-González et al. (1994) y Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona (1991), quienes reportan rangos de 0.56 a 0.75% y de 0.69 a 1.14%, respectivamente. En general, el bajo contenido de lípidos en las algas representa una ventaja ya que esto reduce la presencia de reacciones de rancidez en las raciones alimenticias (Badui, 1995). Temporalmente, el contenido de lípidos varía muy poco, Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona (1991) encontraron 0.85% para invierno, 0.98% para primavera, 0.97% para verano y 0.89% para otoño.

La fibra cruda es el residuo orgánico insoluble remanente después de extraer un material libre de grasa (Goytortúa et al., 1996) y se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona (1991) encontraron valores de 6.38 a 8.86%, mientras que Castro-González et al. (1994) reportaron 7.74%, tales porcentajes son mayores a los encontrados en el presente estudio (5.99%). El contenido de fibra cruda indica un bajo nivel nutritivo del alimento, sin embargo, en el caso de los rumiantes no es así, ya que los organismos que se encuentran en el interior del rumen realizan la fermentación de los alimentos celulósicos (Orskov, 1990). El contenido de fibra varía muy poco temporalmente, Rodríguez-Montesinos & Hernández-Carmona (1991) encontraron 7.15% para invierno, 7.02% para primavera, 8.29% para verano y 6.92% para otoño.

Respecto al extracto libre de nitrógeno el cual es considerado como una medida indirecta de los carbohidratos digeribles de un alimento (Goytortúa et al. 1996), el valor encontrado (34.22%) fue inferior comparado con lo registrado por Castro-González et al. (1994); sin embargo, es mayor que algunos de los forrajes de uso común como la semilla de algodón y la paja de avena, con 30.94 y 24.56%

respectivamente, y menor al valor encontrado en la alfalfa (41.7%) y en el maíz (60.5%) (Peláez, 1988; Hernández, 1993).

Por lo que se refiere a la energía, esta (2.04 Mcal/Kg ) fue muy similar a la reportada por Castro-González et al. (1994) 2.2 Mcal/Kg y Gojón (1997) 2.3 Mcal/Kg, así como también a la obtenida por Marín (1999) 2.13 Mcal/Kg en el alga *Sargassum* spp.

En cuanto al porcentaje de las fracciones de fibras analizadas en el alga (FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa y lignina) éstos fueron inferiores a los encontrados en el alga *Sargassum* spp. (47, 44.4, 6.1, 7.8 y 5.9%, respectivamente) (Marín, 1999). Es importante mencionar que el bajo porcentaje de lignina encontrado en el alga (3.6%), favorece la digestibilidad de la misma, ya que ésta fracción no es digerible por los rumiantes; además de que la lignina actúa como barrera impidiendo la descomposición de la celulosa y hemicelulosa por los microorganismos del rumen (Sánchez, 1993; Dexterm, 1976; Estrada et al., 1986).

El contenido de minerales en *M. pyrifera* ha sido evaluado por Gojón et al. (1998), Mateus (1972) y Manzano y Rosales (1989), quienes reportaron rangos de magnesio entre 10 a 52.8 mg/g, potasio entre 52.6 a 141.0 mg/g, sodio entre 31.11 a 61.3 mg/g y calcio entre 14.0 a 45.7 mg/g. Además Gojón (1997) resalta la importancia de esta alga como fuente potencial de calcio, sodio, potasio y magnesio al compararla con *Sargassum* spp y varios forrajes terrestres. Los resultados de este estudio caen dentro de los rangos mencionados.

Las variaciones encontradas en la composición química de *M. pyrifera* con respecto a lo reportado por otros autores son debidas a diversos factores tales como la distribución geográfica, estación del año, exposición a las corrientes, concentraciones de nutrientes, profundidad, temperatura y edad, los cuales son factores que afectan las características químicas particulares de las algas (Jensen & Haug, 1956, citado por Gojón et al., 1998).

En relación al análisis químico proximal de las dietas experimentales, se puede mencionar que las variaciones de las fracciones evaluadas en cada dieta son debidas principalmente a la inclusión de las concentraciones del alga, e independientemente de las variaciones en extracto etéreo y proteína cruda puesto que la cantidad de estas fracciones se encuentra influida por el sebo y la urea, respectivamente. Las dietas fueron isoproteicas e isocalóricas y cubrieron los requerimientos nutricionales de las cabras (12.8% de proteína cruda, 2.4 Mcal/Kg y 1200 g de materia seca) (N.R.C., 1984).

Es importante considerar el contenido de proteínas en la dieta, debido a que ellas se encuentran en los músculos, tejidos fibrosos, sustancias gelatinosas de los huesos, sangre, vasos linfáticos, leche y en todas las células del organismo (Agraz, 1984). Además, por medio de las proteínas se puede obtener proteína microbiana y energía, de la siguiente manera: a medida que las proteínas y la urea (nitrógeno no proteico) entran al rumen son atacados por enzimas microbianas extracelulares formando péptidos de cadena corta como sustratos terminales, éstos son absorbidos hacia el interior del organismo en donde son degradados a aminoácidos, los cuales son utilizados para la formación de proteína microbiana, la cual es aprovechada por el animal en otros segmentos del aparato digestivo, o bien, son degradados aún más para la producción de energía a través de los AGV (Nava-Cuellar & Díaz-Cruz, 2001).

Los carbohidratos también son importantes ya que ellos representan la principal fuente de energía que se obtiene por medio de la fermentación. Los AGV son el principal producto que se obtiene de la fermentación de carbohidratos, los cuales aportan aproximadamente un 70% de los requerimientos de energía de los rumiantes, el resto, lo proporcionan las grasas y las proteínas. Los AGV más importantes son el ácido acético, propiónico y butírico. El aprovechamiento energético es mayor cuando se produce ácido propiónico que cuando se produce ácido acético, dado que en este último se libera  $H_2$  y  $CH_4$ , que son formas de energía disipada (González-Murillo, 1998; Frioni, 1999).

Por otra parte, también es muy importante el contenido de fibra, ya que la fibra como parte de la nutrición de los rumiantes contribuye al mantenimiento del funcionamiento ruminal: estimula la rumia la cual mejora la fermentación, aumenta el flujo de saliva hacia el rumen mejorando el pH ruminal y estimula las contracciones ruminales (Nava-Cuellar & Díaz-Cruz, 2001).

La urea es una importante fuente de nitrógeno no proteico para el crecimiento y la síntesis de proteína por las bacterias del rumen, la cual entra continuamente en el rumen a través de la pared del rumen procedente del torrente circulatorio y la saliva, y del constituyente de la dieta. Algunos estudios indican que la urea se degrada rápidamente a amoníaco y dióxido de carbono por la enzima ureasa del contenido ruminal y que el amoníaco es el compuesto nitrogenado utilizado realmente en la síntesis de proteína microbiana (Dukes & Swenson, 1977)

Cuando se incluyen pequeñas cantidades de lípidos en la dieta se tiene la ventaja de que se reduce la polvosidad de dietas altas en concentrados y al mismo tiempo, aumenta la gustocidad; además constituye una fuente importante de energía. Es muy importante no excederse de un 10% de lípidos en la dieta, debido a que la digestibilidad se puede ver afectada por una protección física de la fibra con la grasa evitando el ataque microbiano, además de que la población microbiana del rumen puede verse modificada por efectos tóxicos de la grasa sobre ciertos microorganismos (González-Murillo, 1998).

## **8.2 Digestibilidad *in vivo* de la materia seca**

### **8.2.1 Consumo de alimento**

El consumo de alimento puede variar por diferentes factores como son: las características físicas (tamaño de partícula, volumen, dureza y presencia de espinas, entre otras) (Gherardi et al., 1991; Woodward & Coppock, 1995) y químicas del alimento (densidad energética, presencia de alcaloides y taninos, por ejemplo) (Faint et al., 1998), así como por las condiciones ambientales en donde están mantenidos

los animales (temperatura y fotoperiodo) (Forbes, 1995a). Además, Faint et al. (1998) y Forbes (1995a) mencionan que el consumo se reduce cuando la dieta presenta un desbalance de nutrimentos como los aminoácidos y las deficiencias de uno o más minerales o vitaminas. El consumo de las diferentes dietas en el presente experimento fue el adecuado para animales de su peso, indicado en el NRC y al tipo de dieta. Es importante mencionar que la dieta testigo fue consumida en un 98%, la dieta con el 10% del alga tuvo un consumo del 100% y las dietas con el 20 y 30% del alga presentaron un consumo del 97.5%. En este sentido, se puede pensar que los factores anteriormente mencionados no afectaron el consumo de cada una de estas dietas.

#### 8.2.2 Consumo de agua y excreción de orina

Los factores que afectan el consumo de agua son: la temperatura ambiente, la actividad del animal, el estado fisiológico, la dieta, entre otros. En este último factor a una mayor proporción de minerales y proteínas, será mayor la eliminación de agua por la orina, y por lo tanto, mayor es la cantidad exigida por el organismo. En el caso de las proteínas, el principal residuo del catabolismo es la urea, soluble en agua y tóxica para los tejidos si está en solución concentrada; por esta razón se requiere más agua para diluir la urea, eliminarla y excretarla (Agraz, 1984).

En este estudio se observó un aumento progresivo en el consumo de agua y excreción de orina conforme se incrementó la inclusión de alga en las dietas, este aumento es atribuido principalmente al alto contenido de sales minerales cuya mayor parte fueron el sodio (4.84%) y el potasio (9.34%), y no a las proteínas y a los demás factores, ya que las dietas fueron isoproteicas y las cuatro cabras utilizadas se mantuvieron con las mismas condiciones físicas (jaulas metabólicas) y ambientales.

Cuando existe un exceso de sustancias ingeridas con respecto a las requeridas en el organismo, como fue el caso de los macrominerales, generalmente va seguida de un aumento en el consumo de agua para disolver dichas sustancias y

eliminarlas a través de la excreción urinaria, de esta manera, el organismo puede evitar una toxicidad, regular el equilibrio hídrico, los niveles de electrolitos, el pH, la concentración de una sustancia en la sangre, entre otros (Frandsen, 1984). Al respecto, Riggs et al. (1953) y McIlvain (1953), indican que la sal añadida a los suplementos proteicos puede incrementar el consumo de agua desde 22-100% sobre el correspondiente a los piensos a los que no se había añadido sal; Kelly et al. (1955) encontraron que la sal añadida a una ración incrementaba la ingesta de agua 40-60%. En los estudios realizados con macroalgas por Marín (1999) y Casas-Valdez et al. (2003a) utilizando *Sargassum* spp. en sus dietas para borregos y cabras respectivamente, se ha observado de la misma manera, un aumento progresivo en el consumo de agua y excreción urinaria, conforme se incrementa la concentración del alga en la dieta.

### 8.2.3 Digestibilidad *in vivo*

La digestibilidad *in vivo* se refiere a la medición de la cantidad de nutrimento que después de pasar por el tracto digestivo no aparece en las heces. Sin embargo, la digestibilidad *in vivo* proporciona una digestibilidad aparente debido a que no se realizan las mediciones y correcciones de los aportes metabólicos y endógenos (de origen corporal), como las enzimas, hormonas, metabolitos y células de descamación, que son producto del proceso digestivo y que aparecen en las heces sin que formen parte de los desechos de la alimentación (Shimada, 1983; Maynard et al., 1986).

En general, los resultados obtenidos en cada una de las dietas se vieron favorecidos por los valores de nitrógeno amoniacal encontrados en el rumen, que fueron superiores a los recomendados (50-80 mg/l), lo cual de acuerdo a Leng (1990) maximiza el crecimiento bacteriano. Además de que el pH tuvo un rango de 6.70 a 6.90, lo que según Puga et al. (2001) favorece la digestibilidad de las paredes celulares.

No se encontraron trabajos de evaluación donde se haya utilizado a *M. pyrifera* para medir la digestibilidad *in vivo* en ganado caprino, por lo que para fines de comparación se utilizó al alga café *Sargassum* spp. en dietas similares a las utilizadas en este estudio y forrajes de uso común tanto para ganado caprino como ovino.

Marín (1999) utilizó en dietas para borregos inclusiones de 0, 10, 20 y 30% del alga *Sargassum* spp. encontrando digestibilidades del 77.5, 70.1, 77.2 y 73.4%, respectivamente. Casas-Valdez et al. (2003a) por su parte, mencionaron que la digestibilidad *in vivo* de las dietas suministradas con *Sargassum* spp. a cabras fue disminuyendo conforme se aumentó la concentración del alga a 23%, 26% y 29%, con valores de 71.28, 70.4 y 69.9%, respectivamente. Es importante hacer notar que las dietas anteriormente mencionadas son muy similares a las utilizadas en este estudio. Por otra parte, al evaluar la digestibilidad del frijol y la pasta de soya en cabras, Valdez et al. (2002) obtuvieron valores de 71.8 y 69.4%, respectivamente.

Es evidente que los valores de digestibilidad de las dietas utilizadas en este estudio fueron muy buenos comparados con los anteriormente citados. Lo que demuestra que los ingredientes utilizados, además de la composición química del alga, favorecen una buena degradación de los nutrimentos, creando un ambiente ruminal favorable para el crecimiento y metabolismo de los microorganismos que realizan la fermentación de los alimentos.

### **8.3 Digestibilidad *in vivo* de diferentes compuestos de las dietas**

#### **8.3.1 Digestibilidad del Nitrógeno**

Los resultados obtenidos en la digestibilidad del nitrógeno fueron muy buenos, sin embargo, los valores obtenidos se podrían estar sobreestimando debido a la falta de medición de nitrógeno en la orina. La mayor digestibilidad se obtuvo en la dieta con el 10%, a pesar de ello, no hubo diferencia con respecto a la dieta testigo, mientras que la dieta con el 30% presentó la menor digestibilidad del nitrógeno. Este

comportamiento podría deberse a la proteína aportada por el alga debido a que se considera proteína de sobrepaso que es degradada en los siguientes segmentos del tracto digestivo (Gojón, 1997).

### 8.3.2 Digestibilidad de Cenizas (Minerales)

Los minerales son elementos esenciales para obtener una adecuada respuesta en producción animal, ya que son necesarios para casi todos los procesos vitales del organismo. Desde el punto de vista del costo total de la alimentación, la proteína y energía significan el 90% del costo total de la ración, mientras que los minerales solamente el 5%; sin embargo, la falta de uno o más minerales puede significar una baja importante en productividad, y por ende, una baja significativa en los ingresos (Jahn & Cofré, 2002).

Los resultados del contenido de minerales en el alga muestran un exceso de los macroelementos con respecto a los requeridos mientras que las concentraciones de los microelementos se presentaron en concentraciones menores. Con referencia a ello, se dice que cuando hay un exceso de minerales en la dieta con respecto a los requeridos, se pueden presentar interacciones que disminuyan la absorción de los minerales que se encuentran en menor concentración, incrementando la pérdida de éstos en heces y orina (Jahn & Cofré, 2002). En este estudio se midió solamente la pérdida de minerales en heces y no en orina, de manera que los resultados obtenidos en la digestibilidad de las cenizas se podrían estar sobreestimando.

### 8.3.3 Digestibilidad de fibra neutro detergente (FDN).

Las fibras neutro y ácido detergente forman parte de la pared celular de los vegetales y su digestibilidad está sujeta a la proporción en que se encuentren sus componentes: hemicelulosa, celulosa y lignina. Estos tres elementos químicos constituyen en conjunto la fibra vegetal, y es su cantidad como su calidad lo que más afecta la digestibilidad.



La mayor digestibilidad de la FDN se presentó en la dieta con el 30% del alga, lo cual es atribuido a la baja cantidad de lignina presente (3.6%), ya que como lo mencionan Jarrige (1981) y Jung (1989), citados por Juárez et al. (2004) la digestibilidad de la FDN depende de la cantidad y distribución del componente lignina. De la misma manera mencionan que las plantas pobremente lignificadas tales como hierbas jóvenes pueden presentar una alta degradación, mientras que la degradación de la paja es baja debido a su extensa lignificación. En este sentido, este resultado también se presenta por el bajo aporte de paredes celulares del alga, aunado a un menor contenido de alfalfa en comparación con las otras dietas.

#### **8.4 Digestibilidad *in situ* de la materia seca**

La digestibilidad *in situ* permite realizar una estimación de la tasa y grado de degradación de los alimentos en el rumen (Orskov et al., 1980). Los valores obtenidos en este estudio a la hora 96 fueron de 78.5, 76.0, 78.3 y 82.2% para la dieta testigo y las tres dietas elaboradas con el alga (10, 20 y 30%), respectivamente, lo cual indica una alta digestibilidad *in situ* de la materia seca, equivalente al 94.35, 92.23, 95.02 y 98.32% de la digestibilidad *in vivo*, respectivamente. El máximo valor encontrado fue de 82.2% en la dieta con el 30% del alga. Estos resultados son superiores a los obtenidos por Casas-Valdez et al. (2003a) quienes encontraron digestibilidades del 80.8, 71.2, 75.3 y 71.4% en la dieta testigo y en las dietas elaboradas con 23, 26 y 29% de *Sargassum* spp. para cabras. Estas dietas tuvieron una composición muy similar a las dietas utilizadas en este estudio.

Marín (1999) obtuvo valores en bovinos de 72.9, 67.2, 67.0 y 66.3% de digestibilidad *in situ* a la hora 72 en sus dietas testigo, 10, 20 y 30% del alga *Sargassum* spp. respectivamente, los cuales son más bajos que los obtenidos en este estudio a la misma hora de muestreo (74.5, 73.2, 74.6 y 80.7%), así mismo, las dietas que se utilizaron en su estudio estuvieron compuestas por los mismos ingredientes con los que se elaboraron las dietas para este trabajo. Por otra parte, al compararlos con la desaparición *in situ* de diferentes arbustos de Baja California Sur

los cuales mostraron un valor medio del 68.3% (Ramírez et al., 1998), inferiores a los del presente estudio, mientras que en forrajes de uso común como la alfalfa (80.8%), maíz (79.4%) y sorgo (68.6%) (Martínez et al., 1995), los valores fueron similares.

### **8.5 Cinética de desaparición *in situ* de la materia seca**

Es importante evaluar la cinética de digestión porque con ella se determina la proporción de nutrimentos o de materia seca consumida que pueden ser absorbidos y utilizados por el animal (Mertens, 1993).

El valor obtenido de la fracción soluble (a) en la dieta testigo podría estar relacionado con su alto contenido de carbohidratos, cuyas fracciones tienen la característica de presentar una rápida degradación para los azúcares y una degradación intermedia para los almidones, pectinas y beta glucanos (Hernández-Contreras et al., 2003). Mientras que en las dietas elaboradas con el alga se observó que los valores de esta fracción fueron menores a los de la dieta testigo, esto puede ser debido al tipo de carbohidratos que aporta el alga. Entre estas dietas (10, 20 y 30% del alga) se presentó un aumento progresivo de la fracción a conforme se incrementó la inclusión del alga, lo cual está relacionado con el contenido de cenizas, ya que según Gojón (1997), los minerales de *M. pyrifera* desaparecen de la bolsa de nylon hasta en un 81% a la hora 0 por difusión.

Waldo et al. (1972) mencionan que los nutrientes de un alimento están inmersos en dos fracciones, una de ellas es la potencialmente digestible la cual desaparece por digestión en el rumen o por pasaje hacia los demás compartimentos, y la segunda es la fracción indigestible que solamente desaparece por pasaje. Las inclusiones del alga en las dietas aumentaron la fracción potencialmente digestible (b) de la materia seca con respecto a la dieta testigo ( $p < 0.05$ ) a una tasa de digestión o de degradación ruminal de 0.03, 0.02, 0.02 y 0.03/h<sup>-1</sup> para cada una de las dietas ( $p > 0.05$ ). Al observar el porcentaje de la fracción potencialmente digestible, esta presenta rangos superiores a los obtenidos por Galina et al. (2004)

quienes encontraron valores de 59.14% a una tasa de digestión de  $0.051/h^{-1}$ , con dietas que consistieron en pastura con bajo suplemento de urea, 14.5% de maíz, sales minerales, harina de pescado, entre otros. También son más elevados a los encontrados en 9 de los 16 arbustos del noroeste de México evaluados por Ramírez et al. (2000) en ovejas, quienes reportaron rangos entre 15.5 a 54.7 de esta fracción.

Por lo que respecta a la degradabilidad potencial, Wilkins (1969) citado por Singh et al. (1992) la refiere como la máxima digestibilidad obtenida cuando las condiciones y duración de digestión no son factores limitantes y es una medida inversa de la cantidad de fracción indigestible. No hubo diferencia significativa en los valores obtenidos en esta degradabilidad, observando un rango de 82.40 a 87.30% ( $p > 0.05$ ) lo cual refleja el bajo porcentaje de fracción indigestible en cada una de las dietas. Es evidente que la degradabilidad potencial no fue afectada por la composición química de las dietas, ni por el contenido de lignina en las mismas, ya que Smith et al. (1972) citado por Singh et al. (1992) hacen mención a que el valor de esta degradabilidad puede verse afectado por estos factores. Además los valores encontrados son muy similares a los reportados por Ramírez et al. (2000) en algunos arbustos como *Celtis pallida* (88.7%) y *Opuntia lindehimieri* (82.4%).

Por su parte, la degradación efectiva cuantifica la proporción de un nutrimento que está disponible para la fermentación microbiana (Orskov & McDonald, 1979). En este sentido, se determinó su valor a diferentes tasas de degradación ó tasa de pasaje (fracción/h), obteniendo los mayores resultados a una tasa de 0.02/h. Esto es debido a que el flujo es más lento que a 0.05 y 0.08/h, permitiendo que el alimento tenga un mayor tiempo de retención en el rumen y de esta manera lograr una mayor degradación y digestión del mismo, ya que como lo indica Forbes (1995b) la digestibilidad es producto del tiempo de retención. Esto mismo fue observado por Ramírez et al. (2000) quienes encontraron una mayor degradación efectiva a una tasa de pasaje del 0.02/h en 16 arbustos del noreste de México.

### **8.6 Digestibilidad *in situ* de *Macrocystis pyrifera***

En promedio, se obtuvo una digestibilidad *in situ* del 77% la cual difiere de los informados por Gojón et al. (1998) en bovinos (85.4%) y Manzano & Rosales (1989) (83.2%), debido a que ellos midieron la digestibilidad del alga hasta la hora 96. Por otra parte, se ha evaluado la digestibilidad *in vitro* de *M. pyrifera* colectada en verano e invierno, obteniendo resultados de 81.2 y 88.9%, respectivamente (Castro-González et al., 1994). Lo cual demuestra que hay una buena degradación de los nutrimentos aportados por esta alga.

Las diferencias en los resultados de las digestibilidades *in vivo* e *in situ* de las dietas experimentales del presente estudio con los de otros autores son atribuidas a diversos factores que tienen relación con los animales y el alga, tales como la especie, la máxima hora de incubación, la edad, época y ubicación geográfica de colecta y la composición química tanto del alga como de las dietas evaluadas.

La mayor digestibilidad *in vivo* e *in situ* se encontró en la dieta con el 30% del alga. Estos resultados podrían obedecer a diversos factores. El primero esta relacionado con la digestibilidad de la FND la cual según Ingvarsen (1994) y Stensig et al. (1994), citados por Juárez et al. (2004) junto con la digestibilidad de la materia seca son indicadores del valor nutritivo de un alimento, estas digestibilidades pueden ser debidas a un crecimiento de bacterias celulolíticas favorecidas por un pH cercano al neutro, el cual probablemente se presentó por un menor contenido de grano en relación a la dieta testigo. Las fibras contenidas en la dieta ayudan a una mayor secreción de saliva que a su vez permite incrementar el pH ruminal debido a que la saliva aporta considerables cantidades de Na, K, P y de urea, además, el pH pudo haberse incrementado por un mayor consumo de agua. El segundo factor es que cada uno de los constituyentes de la dieta tienen diferentes niveles de digestibilidad, por ejemplo, el alga por si sola representa un ingrediente con buena digestibilidad, ya que la mayor parte de esta fue degradada en rumen (77%) a la hora 72. El tercer factor es que presentó la mayor fracción potencialmente digestible, degradabilidad potencial, así como la mayor degradación efectiva a una tasa de degradación de

0.02/h. El cuarto factor está relacionado con el alto contenido de minerales, cuya digestibilidad también fue mayor en esta dieta. Además, los minerales permiten una mayor retención del agua en el rumen haciendo que el bolo alimenticio sea más turgente y una mayor permanencia en rumen, permitiendo una mayor degradación por las bacterias ruminales (Comunicación personal con el Dr. Hernández Contreras<sup>1</sup>).

### **8.7 Determinación de pH en rumen**

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), pH y ácidos grasos volátiles se forman debido a la fermentación que realizan los microorganismos ruminales, siendo el producto final de la hidrólisis de la proteína, urea, celulosa, hemicelulosa, almidón y azúcares fácilmente fermentables (France & Siddons, 1993). Las bacterias celulolíticas ruminales (BCR) tienen la habilidad de digerir la celulosa presente en los forrajes, por lo que juegan un papel central en la nutrición de los animales rumiantes. Estas bacterias (BCR) prefieren un pH neutro para su crecimiento por lo que son particularmente sensibles a pH bajos (Weimer, 1996). Sin embargo, existen otros grupos de bacterias que también son importantes para la fermentación del alimento las cuales prefieren un pH ácido, como por ejemplo las bacterias amilolíticas, que favorecen la degradación de las dietas elaboradas a base de granos.

El comportamiento del pH fue muy similar en cada una de las dietas, presentando dos descensos a partir de las 3 horas después de haber proporcionado alimento a los animales (8:00 a.m. y 6:00 p.m), correspondientes a las 3 y 12 horas de muestreo. Particularmente, el pH es más bajo en el segundo descenso que corresponde a la hora 12, debido a que la fermentación es acumulativa desde la primera alimentación. Tales disminuciones son atribuidas a los picos de fermentación en donde los productos de desecho como los ácidos grasos volátiles (AGV's) bajan el valor de esta variable. Esto mismo fue encontrado por Marín (1999) en donde sus valores de pH se redujeron inmediatamente después de la alimentación

<sup>1</sup>Dr. Hugo Hernández Contreras, profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

correspondiendo a la mayor síntesis de AGV's.

Las variaciones entre las dietas fueron significativas ( $p < 0.05$ ), observando un aumento en los valores de pH conforme se incrementó la inclusión del alga en la dieta, favoreciendo con ello un pH neutro. Este comportamiento es relacionado con el consumo de agua, ya que éste se incrementa conforme aumenta la concentración de sales minerales en las dietas aportadas por el alga. La mayor disminución de pH se presentó en la dieta testigo obteniendo un valor promedio de 6.7. Posiblemente, este resultado se obtuvo debido a que esta dieta presentó un mayor contenido de sustratos rápidamente fermentables, como el grano de maíz. De la misma manera, se han reportado disminuciones en los valores de pH en dietas elaboradas a base de granos en comparación con dietas en ausencia de ellos; los valores reportados fueron 6.3 (Islam et al., 2000), 5.9 (Fimbres et al., 2002) y 6.5 (Giri et al., 2004).

Es importante mencionar que se considera que los valores encontrados en cada una de las dietas, lejos de afectar la replicación bacteriana celulolítica y sus funciones metabólicas, las favorecen, debido a que conforme se incrementa el alga en las dietas el pH está más cercano a 7; ya que estas bacterias se ven afectadas a pH menores a 6.0 (Russel & Wilson, 1996).

El rango promedio para todas las dietas de este estudio (6.9 a 6.7) fue similar al obtenido por Marín (1999) (7.4 a 6.3) y al de Casas-Valdez et al. (2003a) (7.1 a 6.7) cuyas dietas fueron elaboradas con *Sargassum* spp. y ofrecidas a borregos y cabras, respectivamente.

### **8.8 Determinación de nitrógeno amoniacal en rumen**

La mayor concentración de amoniaco ruminal depende de las tasas relativas de entrada y de remoción. La entrada hacia el rumen se da por distintas vías: por la fermentación del alimento, la lisis de fragmentos celulares (proteína endógena y diferentes compuestos de N-soluble como urea endógena, ácidos nucleicos, ácido

úrico y nitratos) y a través de los productos de excreción de los protozoarios. Mientras que la remoción se lleva a cabo por absorción a través de la pared ruminal o por su incorporación dentro de la materia microbiana (Nolan, 1993).

La mayor concentración de nitrógeno amoniacal para la dieta testigo se presentó a la hora 3 y 12, lo cual indica una rápida fermentación del alimento tomando en cuenta las horas de alimentación (8:00 a.m. y 6:00 p.m.) que corresponden a las 2 y 10 horas. Mientras que a las horas 6 y 9 se observa una disminución de nitrógeno amoniacal, lo cual pudiera estar relacionado a su absorción o remoción. Las dietas elaboradas con el alga (10, 20 y 30%) presentan un comportamiento contrario, observando una disminución de la hora 0 a la hora 3, y en la dieta con el 30% también se observa un decremento en la hora 12. Este comportamiento puede deberse a la poca o nula degradación ruminal de la proteína aportada por el alga, tal y como lo menciona Gojón (1997) quien encontró que la degradación por enzimas bacterianas ruminales no son efectivas para desdoblar las proteínas de esta alga la cual es aprovechada en el abomaso donde la enzima tripsina bovina tiene una mayor afinidad proteica. En este sentido, se puede decir que el alga está aportando proteína protegida a la degradación ruminal, lo cual es muy importante debido a que la utilización enzimática de los nutrientes a nivel postruminal, no incluye pérdidas de energía asociadas a la fermentación y tampoco de nitrógeno para su fermentación en proteínas microbianas. Consecuentemente, cuando se suministran proteínas a nivel postruminal, se logra una mayor retención de nitrógeno que cuando éstas son infundidas en el rumen (Hogan, 1975); es por ello que diversos autores indican la conveniencia de reducir la degradación ruminal de las proteínas de la dieta en función de maximizar su utilización.

Los valores de nitrógeno amoniacal en este estudio se encontraron entre 328 y 304 mg/l para la dieta testigo, 307 y 271 mg/l para la dieta con el 10% de *M. pyrifera*, 327 y 303 mg/l para la dieta con el 20% y de 303 y 207 mg/l para la dieta con el 30%.

Satter & Slyter (1974) explican que una concentración de 50 mg de  $\text{NH}_3\text{-N/l}$  es suficiente para sostener una tasa máxima de crecimiento de bacterias ruminales y que niveles excesivamente altos, por arriba de 800 mg/l no inhibe el crecimiento bacteriano. En este sentido, se considera que los valores obtenidos en este trabajo no afectaron la replicación bacteriana así como tampoco sus funciones metabólicas. Además, Preston & Leng (1987) mencionan que valores de nitrógeno amoniacal elevados puede ser benéfico para la fermentación ruminal, ya que cuando los niveles alcanzan el punto crítico, éste es incorporado a los aminoácidos sin usar ATP (fuente de energía), mientras que a niveles bajos la fijación requiere esta fuente. Por otra parte Krebs & Leng (1984) reportaron que la tasa de desaparición de celulosa y fibra de la bolsa de nylon se incrementa cuando el amoniaco alcanza niveles cercanos a 200 mg/l.

Los valores encontrados en este trabajo se encuentran por encima a los encontrados por Marín (1999) quien obtuvo intervalos de 112 y 263 mg/l para la dieta testigo, 93 y 311 mg/l para la dieta con el 10% de *Sargassum* spp., 47 y 321 mg/l para la dieta del 20% y entre 55 y 303 mg/l para la dieta con el 30%. Chaudhary & Singh (2004) encontraron concentraciones de 207 y 241 mg/l con dietas a base de paja y alimento peletizado.



## 9. Conclusiones

- a) La composición química de *Macrocystis pyrifera* permite que sea utilizada como un ingrediente para la elaboración de dietas para cabras, sin afectar el consumo de las mismas. Los principales componentes nutrimentales fueron los minerales y los carbohidratos, seguidos de las proteínas.
- b) La dieta con el 30% del alga presentó la máxima digestibilidad *in vivo* (83.60%) e *in situ* (82%).
- c) Los resultados de la cinética de desaparición ruminal de la materia seca demuestran la alta digestibilidad *in situ* con la máxima inclusión del alga, ya que esta dieta presentó la mayor degradabilidad potencial y una mayor tasa de digestión.
- d) La digestibilidad *in situ* del alga pura fue en promedio de 77%, lo que demuestra una buena degradación de los nutrimentos aportados por el alga.
- e) Los parámetros de fermentación ruminal (pH y nitrógeno amoniacal) no se vieron alterados de forma negativa con las inclusiones del alga (10, 20 y 30%) en la dieta. Al contrario, a mayor concentración de algas en la dieta el pH fue más cercano a 7.
- f) Los resultados de la composición química, la digestibilidad *in vivo* e *in situ* así como las variables de fermentación ruminal, sugieren que *M. pyrifera* puede ser utilizada hasta en un 30% como un complemento alimenticio en la dieta del ganado caprino.

## 10. Recomendaciones

- a) Determinar la proporción de ácidos grasos volátiles en el rumen para conocer el aporte de cada una de las dietas.
- b) Realizar un análisis de desaparición *in situ* de la proteína cruda del alga para corroborar si es una proteína de sobrepaso.
- c) Una vez concluido el experimento, se recomienda realizar un análisis de sangre para conocer el efecto de la dieta sobre el estado metabólico de los animales.
- d) Realizar una prueba de comportamiento en cabras utilizando al alga *Macrocystis pyrifera*.

## 11. Literatura citada

- Agraz, G.A.A. 1984. Caprinotecnia 1. 2ª ed. Ed. Limusa, México. 1-801 p.
- A.O.A.C. 1999. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. 16<sup>th</sup> ed. 5<sup>th</sup> revisión. Washington, D.C. 1545 p.
- Badui, S. 1995. Química de los Alimentos. 3ra. ed. Ed. Alambra Mexicana, México, D.F. 648 p.
- Calderón, C. 1979. Fundamentos de Fisiología Animal. Ediciones Universidad Navarra, S.A. Pamplona, España. 562 p.
- Calsamiglia, S. & A. Ferret. 2002. Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos. Univ. Autón. de Barcelona. XVIII Curso de Especialización FEDNA. 4 y 5 de Noviembre de 2002. Barcelona, España. 97-115 p.
- Casas-Valdez, M., I. Sánchez-Rodríguez & G. Hernández-Carmona. 1993. Evaluación de *Sargassum* spp. en la costa oeste de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. Inv. Mar. CICIMAR, 8(2):61-69.
- Casas-Valdez M., Z.E. Serviere, B.D. Lluch, R. Marcos & R.R. Aguila. 2003a. Effects of climatic change on the harvest of the kelp *Macrocystis pyrifera* at the Mexican Pacific coast. Bull. Marine Sci. 73(3):445-456.
- Casas-Valdez, M., R.N. Águila-Ramírez, A. Marín-Álvarez, I. Sánchez-Rodríguez, H. Hernández-Contreras, S. Carrillo-Domínguez & R.F. Pérez-Gil. 2003b. Aprovechamiento del alga *Sargassum* spp. como complemento alimenticio de ganado caprino. Informe Técnico Final de Proyectos de Investigación 2002-2003. Instituto Politécnico Nacional, 35 p.
- Casas-Valdez M., H.E. Hernández-Contreras, A. Marín-Alvarez, R.N. Aguila-Ramírez, C.J. Hernández-Guerrero, I. Sánchez-Rodríguez & S. Carrillo-Domínguez. 2006. El Alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino. Rev. Biol. Trop. 54 (1):1-10.
- Castro-González, M.I, S. Carrillo-Domínguez & F. Pérez-Gil. 1994. Composición química de *Macrocystis pyrifera* (Sargazo gigante) recolectada en verano e invierno y su posible empleo en alimentación animal. Cienc. Mar. 20(1): 33-40.

- Cruz-Suárez, L.E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar & C. Guajardo-Barbosa. 2000. Uso de harina de kelp (*Macrocystis pyrifera*) en alimentos para camarón. En: Cruz-Suárez, L.E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.A. Olvera-Novoa & R. Civera-Cerecedo. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 19-22 Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán, México. 227-266 p.
- Chapman, V.J. & D.J. Chapman. 1980. Seaweeds And Their Uses. (3<sup>rd</sup>. Edition). Chapman and Hall. U.S.A. 334 p.
- Chaudhary, U.B. & N. Singh. 2004. Rumen protozoal population and fermentation pattern as affected by all roughage diet in goats. Ind. J. Anim. Sci. 74(3):292-295.
- De la Campa de Guzmán, S. 1974. La cosecha de algas comerciales en Baja California II. El sargazo gigante. En: Casas-Valdez, M. & Ser. Divulg. IPN. Méx. 6:7-10.
- Derache, R. 1990. Toxicología y Seguridad de los Alimentos. Ediciones Omega, Barcelona. España. 491 p.
- Devendra, C. 1971. La industria caprina en los trópicos. Agron. Trop. 21(3):237-246.
- Dexterm, W. 1976. Producción de proteínas monocelulares para pienso a partir de residuos lignos celulósicos. Rev. Mundial Zootécnica. 14:40.
- Dibene-Arriola, C.G. 1989. Diagnóstico de la operación del seguro ganadero en Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Univ. Autón. de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 96 p.
- Dukes, H.H. & M.J. Swenson. 1977. Fisiología de los Animales Domésticos. 4<sup>a</sup> ed. Ed. Aguilar. 1054 p.
- Edwards, M.S. & G. Hernández-Carmona. 2005. Delayed recovery of giant kelp near its southern range limit in the North Pacific following El Niño. Marine Biol. 147:273-279.
- Estrada, F., A. Viant, M. González y O. Rodríguez. 1986. Nota sobre algunas características químicas de los residuos fibrosos de la cosecha de la caña de azúcar. Rev. Cubana Cienc. Agric. 19:257.

- Faint, M.A., D.M. McNeill, J.L. Stewart, A.C. Castillo, R.N. Acacio & J.J. Lynch. 1998. Palatability of *Leucaena* to ruminants. In: Shelton, H.M., R.C. Gutterindge, B.F. Mullen, R.A. Bray, (Eds.) ACIAR Proceedings Series. No. 86. 215-226 p.
- Ferreiro. 1986. Forages as supplements for molasses based diets in cattle. Ph. D. Dissertation, Univ. of Reading. England. 207 p.
- Fimbres, H., J.R. Kawas, G. Hernández-Vidal, J.F. Picón-Rubio & C.D. Lu. 2002. Nutrient intake, digestibility, mastication and ruminal fermentation of lambs fed finishing ration with various forage levels. Small Rum. Res. 43: 275-281.
- Forbes, J.M. 1995a. Voluntary Food Intake and Diet Selection In Farm Animals. CAB International. U.K. 532 p.
- Forbes, J.M. 1995b. Physical limitation of feed intake in ruminants and its interactions with other factors affecting intake. In: Engelhardt, W.V., S. Leonhard-Marek, G. Breves, & D. Giesecke. (Eds.) Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction. Proceedings of the Eighth International Symposium on Ruminant Physiology. 10: 217-230.
- France, J. & R.C. Siddons. 1993. Volatile fatty acid production. In: Forbes, J.M. & J. France. (Eds.) Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. CAB International, U.K. 107-121.
- Frandsen, R.D. 1984. Anatomía y fisiología de los animales domésticos. 3ª ed. Ed. Interamericana. México, DF. 517 p.
- Frioni, L. 1999. Procesos microbianos. Tomos I y II. Colecc. Manuales. Ed. De la Fundac. Univ. Nac. de Río Cuarto, Córdoba.
- Galina, M.A., M. Guerrero, C.D. Puga & G.F.W. Haenlein. 2004. Effects of slow-intake urea supplementation on goat kids pasturing natural Mexican rangeland. Small Rum. Res. 55:85-95.
- Garza, F.J. 1990. Técnicas para realizar la fistulación y canulación del esófago y rumen. En: Manual de técnicas de investigación de rumiología. Sistema de educación continua en producción animal. México. 231-242.
- Genin, D. & A.P. Pijoan. 1993. Seasonality of goat diet and plant acceptabilities in the coastal scrub of Baja California. México. Small Rum. Res. 10(1):1-11.

- Gherardi, S.G., J.L. Black, & W. F. Colebrook. 1991. Effect of palatability on voluntary feed intake by sheep. II The effect of altering the palatability of a wheaten hay on long-term intake and preference. Aust. J. Agric. Res. 42:585-598.
- Gill, J.L. 1978. Design and Analysis of Experiments in the Animal and Medical Science. Iowa State University. U.S.A. 302 pp.
- Giri, S.S., S. Jaggi & N.N. Pathak. 2004. Feeding of grainless diets containing different nitrogen sources to crossbred growing bulls: effects on rumen fermentation pattern, microbial enzyme activity and ciliate protozoa population. Anim. Feed Sci. and Tech. 118:187-200.
- Gojón, B.H.H. 1997. Degradabilidad *in situ* y digestibilidad de *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyta) y *Sargassum* spp. (Fucales Phaeophyta) en ganado bovino. Tesis de Licenciatura. Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar. Univ. Autón. de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 61 p.
- Gojón, B.H.H., D.A. Siqueiros-Beltrones & H. Hernández-Contreras. 1998. Digestibilidad ruminal y degradabilidad *in situ* de *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum* spp. en ganado bovino. Cienc. Mar. 24(4):463-481.
- González, F.J.G. 1983. Variaciones individuales en la composición química y determinación del tamaño mínimo de muestras en mantos de *Macrocystis pyrifera* (L.) Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Agrícolas, Univ. Autón. de Baja California, México. 45 p.
- González-Espinoza, M., P.F. Quintana-Ascencio, N. Ramírez-Marcial & P. Gaytán-Garrido. 1981. Secondary succession in disturbed Pinus-Quercus forests in the highlands of Chiapas, México. J. Veg. Sci. 2:351-360.
- González-León, E. 1981. Recursos disponibles para el sector agropecuario y forestal en el estado de Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Univ. Autón. de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 111 p.
- González-Murillo, R. 1998. Anatomía y fisiología digestiva de los rumiantes. En: Pineda-García, A.; M. Ojeda-Vergara & M.A. Verdugo-Cota (Eds.) Nutrición y Alimentación de Rumiantes. Memorias Integradas. Febrero-Junio de 1998. La Paz, Baja California Sur, México. 27-52 p.

- Goytortúa, B.E., R. Civera-Cerecedo & S.G. Rocha-Meza. 1996. Manual de análisis químico proximal de insumos y alimentos. CIBNOR, La Paz, Baja California Sur, México. 48 p.
- Harmon, D.L. & C.J. Richards. 1997. Considerations for gastrointestinal cannulations in ruminants. J. Anim. Sci. 75:2248-2255.
- Haenlein, G.F.W. & R. Caccese. 1992. Digestión. Extensión goat handbook. Univ. of Delaware. [On-line]; <http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/goat/DIGESTION.html>
- Hernández, C.G., Y.E. Rodríguez-Montesinos, M. Casas-Valdez, M.A. Vilchis, & I. Sánchez-Rodríguez. 1991. Evaluación de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta, Laminariales) en la península de Baja California, México. III. Verano de 1986 y variación estacional. La Paz, Baja California Sur, México. Cienc. Mar. 17(4):121-145.
- Hernández-Contreras, H.E., R. Ramírez-Orduña y H. González-García. 2003. Caracterización del sistema Cornell (CNCPS) como modelo de predicción. 6º Ciclo Académico Agropecuario. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México.
- Hernández, G., M. Casas, C. Fajardo, I. Sánchez & E. Rodríguez. 1990. Evaluación de *Sargassum* spp. en la Bahía de la Paz, Baja California Sur, México. Inv. Mar. CICIMAR. 5(1):11-18.
- Hernández, C.H.E. 1993. Efectos fisiológicos de la suplementación de heno de alfalfa a novillos en una dieta basal de paja de avena. Tesis de Doctorado. Facultad de Zootecnia. Univ. Autón. de Chihuahua. Chihuahua, México. 110 p.
- Hernández, C.H.E. & R. Aguirre. 1993. La vitaminas y los minerales. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento de Zootecnia. 128 p.
- Hogan, J.P. 1975. Quantitative aspects of nitrogen utilization in ruminants. J. Dairy Sci. 58:1664.
- Ibarra-Flores, F., M. Martín-Rivera, A. Encinas-Blanco y S. Pérez-Pesqueira. 2003. Mejoramiento forrajero de los agostaderos de Sonora. (<http://patrocipes.uson.mx/ranchomar2003/Mejoramamiento1.htm>)
- INEGI. 2003. El sector alimentario en México. México. 64 -72.

- INNSZ. 1984. Manual de técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. México, D.F. 175 p.
- Islam, M., H. Abe, Y. Hayashi & F. Terada. 2000. Effects of feeding italian ryegrass with corn on rumen environment, nutrient digestibility, methane emission, and energy and nitrogen utilization at two intake levels by goats. Small Rum. Res., 38:165-174.
- Jahn B.E. & B.P. Cofré. 2002. Producción de cabras lecheras. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. 10 p.
- Johnson, R. A. & D.W. Wichern. 1990. Applied Multivariate Statistical Analysis. 2<sup>nd</sup>. Ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Juárez, R.A.S., E.R. Montoya, C.G. Nevarez, S.M.A. Cerrillo & F.L. Mould. 2004. *In situ* degradability of dry matter and neutral detergent fibre of thorn scrubland forage consumed by goats in the semiarid region of north Mexico. Anim. Sci., 79:505-511.
- Kelly, C.F., T.E. Bond & N.R. Ittner. 1955. Water cooling for livestock in a hot environment. Agric. Eng. 36:173-180.
- Krebs, G. & R.A. Leng. 1984. The effect of supplementation with molasses / urea block in ruminal digestion. Proceedings of Australian Society of Animal Production, 15:704.
- Lada, L. B., J. A. Zertuche & G. Hernández. 1999. Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*, Phaeophyceae) recruitment near its southern limit in Baja California after mass disappearance during ENSO 1997-1998. J. Phycol., 35:1106-1112.
- Leng, R.A. 1990. Factors affecting the utilization of "poor quality" forages by ruminant animals particularly under tropical conditions. Nutr. Res. Rev. 3:277-303.
- McIlvain, E. H. 1955. Salt as a Regulator of Protein Supplements for Beef Cattle. Woodward, Oklahoma. USDA Station Progress Report 5503, February 20.
- Manzano, M.R. & G.E. Rosales. 1989. Aprovechamiento de las algas marinas *Macrocystis pyrifera* y *Sargassum sinicola* en la alimentación humana y animal. Tesis Profesional. Facultad de química. Univ. La Salle. México, D. F. 106 p.



- Marín, A.A. 1999. Utilización del alga *Sargassum* spp. como complemento alimenticio de ganado ovino. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. I.P.N. La Paz, Baja California Sur, México. 86 p.
- Marín, A.A., M, Casas, S. Carrillo, H. Hernández & A. Monroy. 2003. Performance of sheep rations with *Sargassum* spp. sea algae. Cuban J. Agric. Sci., 37(2):119-123.
- Martínez, B.U. 1981. La Ganadería en Baja California Sur (1ra. ed.). Ed. J.B. La Paz, Baja California.Sur, México. 229 p.
- Martínez, R., G. Núñez, M. Herbele & J. Márquez. 1995. Evaluación de forrajes para la sustitución de la alfalfa en la región árida de México. I. Digestibilidad. Memorias de la Asociación mexicana de producción animal. 244-249 p.
- Mateus, V.H. 1972. Estudio integral tecnológico sobre el aprovechamiento de *Macrocystis pyrifera* como complemento alimenticio aviar. Univ. Autón. de Baja California. Escuela Sup. Cienc. Mar. Ensenada, Baja California, México. 89 p.
- Maynard, A.L., K.J. Loosli, F.H. Hintz, & G.R. Warner. 1986. Nutrición Animal. 4ª ed. Ed. Mac Graw Hill. México, D. F.
- Mehrez, A.Z. & E.R. Orskov. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J. Agric. Sci. (Camb.) 88: 645-650.
- Mertens, D.R. 1993. Rate and extent of digestion. In: Forbes, J.M. & J. France. (Eds). Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. CAB International, 13-51.
- Meza, A.M.I. 1998. Impacto sobre la calidad del huevo al incluir algas marinas en raciones para gallinas ponedoras. Tesis de maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Univ. Nal. Autón. México. México D.F. 97 p.
- Minson, D.J. 1982. Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolizable energy. Rev. Nutr. Abstr. 52: 591-615.
- Moya-Rodríguez, J.G., R.G. Ramírez-Lozano, R. Foroughbakhch P., L. Háuad-Marroquín & H. González-Rodríguez. 2002. Variación estacional de minerales en las hojas de ochos especies arbustivas. Ciencia UANL, Nuevo León, México. 5(1):59-65.

- Nava-Cuellar, C. & A. Díaz-Cruz. 2001. Introducción a la digestión ruminal. Departamento de Nutrición Animal.  
<http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/enlinea/Ruminal/introduccion.htm>
- Nolan, J.V. 1993. Nitrogen kinetics. In: Forbes, J.M. & J. France. (Eds.) Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. CAB International, 123-143.
- N.R.C. 1984. Nutrient requirements of domestic animals, nutrients requirements of beef cattle. 6th ed. National Academic of Sciences. National Research Council. Washington, D.C. 65 p.
- Nutrión. 2002. Manual de operación nutrición 5 Básico. Versión 2002. Comercializadora de Software S. A de C. V., México 25 p.
- Ocampo-García, J. 1981. Aprovechamiento del orujo de oliva y su posible utilización en la alimentación animal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas, Univ. Nac. Autón. de México, 89 pp.
- Orskov, E.R. 1990. Nutrición de los Rumiantes. Principios y práctica. Ed. ACRIBIA, Zaragoza, España. 119 p.
- Orskov, E.R. & L. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to the rate of passage. J. Agric. Sci. (Camb.) 92:499-503.
- Orskov, E.R., F.D. De B Hovell & F. Mould. 1980. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. Prod. Anim. Trop., 5:213-233.
- Pacheco, R.I., G.J.A. Zertuche, B.A. Chee & B.R Blanco. 1998. Distribution and quantification of *Sargassum* beds along the west coast of the Gulf of California, México. Bot. Mar. 41:203.
- Peláez, V.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 Profesional. Departamento de Zootecnia. Univ. Autón. de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 58 p.
- Peñuñuri, M.F.J. 1986. Rancho. No. 29.  
(<http://patrocipes.uson.mx/patrocipes/invpec/ranchos/RA0029.html>).

- Preston, T.R. & R.A. Leng. 1987. Matching ruminant production system with available resources in the tropics and sub tropics. Penambul Books: Armidale, Australia. 57 p.
- Price, M.L., A.E. Llageman & L.C. Dutler. 1980. Tannin content of cows peas, chick peas and mong beans. J. Agric. Food Chem. 28:459-461.
- Puga, D.C., M.A. Galina, R.F. Pérez-Gil, G.L. Sanginés, B.A. Aguilera & G.F.W. Haenlein. 2001. Effect of a controlled-release urea supplement on rumen fermentation in sheep fed a diet of sugars tops (*Saccharum officinarum*), corn (*Zea mays*) and King grass (*Pennisetum purpureum*). Small Rum. Res. 39:269-276.
- Ramírez, R.G., R.R. Neira-Morales, R.A. Ledezma-Torres & C.A. Garibaldi-González. 2000. Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. Small Rum. Res. 36: 49-55.
- Ramírez, O.R., R.G. Ramírez, O.J.M. Ramírez, S.J.M. Ávila, P. Cepeda & Q.J.A. Armenta. 1998. Kinetics of dry matter digestion in leaves of native shrubs from the Sonoran desert of México. The 8<sup>th</sup> World Conference on Animal Production. June 28-July 4, 1998. Seoul National University, Seoul, Korea. Vol. I. pp. 380-381.
- Riggs, J.K., R.W. Colby & L.V. Sells. 1953. The effect of self-feeding salt-cottonseed mixtures to beef cows. J. Anim. Sci. 12:379.
- Rodríguez-Bernal, M., D.S. Carrillo, R.F. Pérez-Gil, G.E. Avila & M. Casas-Valdez. 1995. Efecto de la calidad del huevo y cascarón al incluir las algas marinas *Sargassum sinicola* y *Ulva lactuca* en raciones para ponedoras. ANECA. 291-297 pp.
- Rodríguez-Montesinos, Y.E. & G. Hernández-Carmona. 1991. Variación estacional y geográfica de la composición química de *Macrocystis pyrifera* en la costa occidental de Baja California. Cienc. Mar. 17(3): 91-107.
- Rojkind, A.R. 1977. Algas Marinas bentónicas como suplemento en la alimentación animal. 1. Ensayos con pollos y gallinas ponedoras. Rev. Bibliográfica. Contribución Técnica No. 19. Centro de Investigación Biológica Marina. Buenos Aires, Argentina. 24 p.

- Russel, J. B. & D.B. Wilson. 1996. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? J. Dairy Sci. 79:1503-1509.
- SAS. 1985. SAS/STAT guide for personal computers (Version 6 edition). SAS Institute Inc. Cary, N.C.
- Salcido-Olguín, R.E. & P.A. Olachea-Camacho. 1993. Efecto de diferentes fuentes de grasa sobre la producción y composición de la leche y el crecimiento de las crías en cabras cruzadas. Tesis de Licenciatura. Univ. Autón. de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México 36 p.
- Sánchez, D.A. 1984. Tecnificación de la Ganadería Mexicana. (1ra. ed.). Ed. LIMUSA. México, D.F. 354 p.
- Sánchez, M. 1993. Fibra alimentaria. En: Edita Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos. Nutrición y Dietética. Aspectos sanitarios. Tomo 1. España. 241-261.
- Sanginés, G.L. 1998. Efecto de la suplementación de *Atriplex canescens* sobre la cinética ruminal y digestibilidad en borregos. Tesis de Maestría. Univ. Nac. Autón. de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México, D.F. 89 p.
- Satter, L.D. & L.L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. Br. J. Nutr. 32:199-208.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1979. Breve descripción de la situación actual de la ganadería de carne en el estado de Baja California Sur. La Paz, B. C. S.
- Shimada, A. 1983. Fundamentos de Nutrición Animal Comparativa. 1ª ed. Ed. Trillas (Eds.) México, D. F. Asociación Americana de Soya. México. 369 pp.
- Singh, B., H.P.S. Makkar & S.S. Negi. 1992. The kinetics of digestion in ruminants. A review. Indian J. Dairy Sci., 46(3):90-99.
- Soto, P.L., M. López & A. García. 1988. Etnobotánica y religión entre los chamulas de los Altos de Chiapas de México. En: Uribe, R. (Ed). Medio Ambiente y Comunidades Indígenas del Sureste. UNESCO/Gobierno del Estado de Tabasco. México. pp. 105-116.

- Steel, R.G. & J.H. Torrie. 1988. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Ed. McGraw-Hill. México, D.F. 622 p.
- Tejada, I.H. 1985. Manual de Laboratorio para Análisis de Ingredientes Utilizados en la Alimentación Animal. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México A. L., México, D. F. 714 p.
- Terrazas, F.M. & M.M. Casas-Valdez. 1985. Efecto de diferentes niveles de harinas de algas *M. pyrifera* lavada y sin lavar sobre el rendimiento de pollos de engorda. Informe técnico. CICIMAR-UABCS. 20 pp.
- Valdez, L.M., V.L. Almeida, G.U. Maldonado, G.E. Vázquez, A.M.A Luque & L.J.J. Portillo. 2002. Efecto del frijol (*Phaseolus vulgaris*) de rezaga cocido en la digestibilidad aparente de la fibra en cabras lecheras. En: Valdez, L.M., V.L. Almeida, G.U. Maldonado, G.E. Vázquez, A.M.A Luque & L.J.J. Portillo. (Eds.) Memorias de la XX Reunión Nacional Sobre Caprinocultura. 5-7 de Octubre, 2005. Culiacán Sin., México. pp. 273-279.
- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminants. B. Books. Corvallis, Oregon, USA, 478 p.
- Waldo, D.R., L.W. Smith, & E.L. Cox. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen. J. Dairy Sci. 55:125-129.
- Weimer, P.J. 1996. Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster?. J. Dairy Sci. 79:1496-1502
- Woodward, A. & D.L. Coppock. 1995. Role of plant defense in the utilization of native browse in southern Ethiopia. Agrofor. Syst. 37:147-161.