



UNIVERSIDAD CATOLICA DE TEMUCO
FACULTAD DE ACUICULTURA Y CS. VETERINARIAS
ESCUELA DE ACUICULTURA

TESIS DE GRADO

**EVALUACION DE UNA TECNICA DE ENSILADO PARA EL ALGA
Macrocystis pyrifera Y OBSERVACION DE SU CONSUMO POR
PARTE DE ABALON ROJO (*Haliotis rufescens*)**

**Tesis para optar al grado de
Licenciado en Ciencias de la
Acuicultura.**

Alumno: Cristian Pizarro Tonioni
Profesor Guía: Alfonso Mardones Lazcano

Temuco, 2003

RESUMEN

Se describe la evaluación de una técnica de ensilado para algas, adaptada desde la experiencia del área agrícola como una alternativa para la alimentación de abalones. Para esto se diseñó un silo experimental, construido de PVC, usando como material a ensilar el alga *Macrocystis pyrifera*. Se evaluaron tres tratamientos con distintos niveles de desecación: T-1 (20% materia seca), T-2 (30% ms) y T-3 (35% ms), además de un grupo control C, que fue ensilado directamente sin previa desecación. Se analizó la diferencia entre los proximales del alga fresca y los productos ensilados (materia seca, proteína, extracto etéreo, fibra, cenizas y extracto no nitrogenado). Los silos fueron abiertos a los 55 días, asumiendo que la estabilización del proceso estaría completada. Se encontró que es factible ensilar el alga *Macrocystis pyrifera* obteniendo la mejor apariencia cuando se aplica un presecado hasta 35% de materia seca. Al analizar las diferencias entre los proximales del alga fresca y los tratamientos se encontró que éstas fueron significativas ($p > 0,05$) para todos los casos, excepto para el extracto etéreo, pero no se consideró que dichas diferencias fueran considerables en relación a la variación estacional que presenta el recurso en estado natural. También se realizaron observaciones del ensilado sobre diversos aspectos, tales como el consumo por parte del abalón rojo *Haliotis rufescens*, la hidratación y la colonización bacteriana en el producto cuando es puesto en el agua.

SUMMARY

A technique for kelp silage adapted from agriculture field experience as an alternative abalone food is described. For this purpose an experimental silo was designed and built in PVC material, using the kelp *Macrocystis pyrifera* as silage. Three treatments with different drying levels were evaluated: T-1 (20% Dry Matter), T-2 (30% DM) and T-3 (35% DM), besides a control treatment that was included without a previous drying period. Differences in the proximal analyses between fresh kelp and silage products were analysed (dry matter, protein, fat, fibre, ash and carbohydrate). The silos were opened after 55 days, assuming that the stabilisation process was complete. It was found that it is feasible to create kelp silage and that in order to obtain optimum appearance a previous drying period of up to 35% of the dry matter should be applied. The differences in the proximal analyses between the fresh kelp and the silage were significant ($p > 0,05$) for all the treatments, except for those concerning fat content. However, it was not taken into account that these differences were considerable in relation to the seasonal variation shown for this kelp in its natural state. In addition, observations were carried out on diverse aspects of the silage product, such as the consumption of red abalone (*Haliotis rufescens*), hydration levels as well as bacterial colonisation after the silage had been immersed in water.

INDICE

I. INTRODUCCION	5
1.1 Problemática	5
1.2 El ensilado como una solución a la problemática	7
1.3 El Alga	13
1.4 El Abalón	16
II. OBJETIVOS	19
III. MATERIALES Y METODOS	20
3.1 Preparación del silo	20
3.2 Recolección de <i>Macrocystis pyrifera</i>	22
3.3 Curva de desecación	22
3.4 Proceso de ensilado	23
3.5 Apertura de los silos y Análisis Proximal	25
3.6 Determinación del desarrollo bacteriano	25
3.7 Evaluación de la hidratación del ensilado en el agua	25
3.8 Observación del consumo del ensilado	26
3.9 Análisis Estadístico	27
IV. RESULTADOS	28
4.1 Los silos	28
4.2 El ensilado	28
4.3 Análisis Proximal	31
4.4 Curva de desecación	33
4.5 Curva de hidratación del ensilado	34
4.6 Desarrollo bacteriano	35
4.7 Observación del consumo de ensilado	35
V. DISCUSION	37
5.1 Los silos	37
5.2 Composición Proximal	38
5.3 Hidratación del ensilado	42
5.4 Acción bacteriana	42
5.5 Consumo	43
VI. CONCLUSION	45
VII. BIBLIOGRAFIA	46

I. INTRODUCCION

1.1 La Problemática

Como en todo tipo de cultivo intensivo, la alimentación de especies tiende a ocupar un punto crítico dentro de los costos de producción, el cultivo del abalón en Chile, no es la excepción. Se sabe que los países que cuentan con una larga experiencia en el cultivo del abalón, usan principalmente pellet como base para la alimentación, aspecto que no se ha expandido aún en el ámbito nacional. El manejo de los cultivos requiere un balance económico entre la maximización del crecimiento y la minimización de los costos de alimentación (Lorkin et al., 1999).

En nuestro país, el principal insumo usado como alimento para abalones son macroalgas. En la zona norte se alimenta principalmente con *Lessonia spp* y *Macrocystis integrifolia* y en menor cantidad se usa *Ulva spp* y *Gracilaria spp*, mientras que en la zona sur se alimenta con *Macrocystis pyrifera* y *Gracilaria chilensis* (Aquanoticias N°76, 2003). Para el caso de *Macrocystis pyrifera*, esta macroalga experimenta una baja notable en su disponibilidad en los meses de invierno, lo cual trae consigo un aumento considerable en los costos, al tener que depender del abastecimiento desde áreas específicas, a veces, cada vez más alejadas de los centros de cultivo de abalones.

Hahn (1989) declara, para el caso de Japón, usar macroalgas como alimento principal en la dieta es caro, porque esto requiere de una gran labor de cosecha, electricidad para refrigerarla o el trabajo de secado del alga, además de tener un bajo contenido de proteína (5%) y una alta cantidad de agua (40%).

Por otro lado, diversos autores se han referido a la marcada estacionalidad anual que presentan las praderas naturales de *Macrocystis pyrifera* (Hepburn, 1965; Candia et al., 1979; Castro et al., 1991; Hernández et al., 1989; Neushul, 1981; Westermeier & Chávez, 2003), en la que se experimenta un aumento en la biomasa para meses de primavera y verano y una baja en la biomasa para los meses de otoño e invierno.

La metodología usada para la alimentación de los abalones en Chile, consiste en depositar el alga en los estanques para el caso de los cultivos en tierra, pero en el caso de los cultivos suspendidos, ésta debe ser depositada dentro de los sistemas de confinamiento utilizados, una o dos veces por semana, por lo que un alimento específico para estos organismos debe responder a cierto tiempo de permanencia en el agua.

Como ya se ha mencionado, el principal problema del alimento artificial es su costo, no sólo por el valor del alimento, sino también por la problemática de su duración o permanencia como pellet en el agua que dificulta el manejo y operaciones en la alimentación. También importante y decisivo es el mayor precio que alcanza el abalón cuando es alimentado con dietas naturales.

Así, el alga sigue siendo el principal insumo alimenticio en los cultivos de abalón en nuestro país (com. pers. A. Mardones). Por esto, un método que ha dado resultado en la zona norte del país y que ha intentado resolver el problema de la disponibilidad de alga en invierno es la deshidratación solar, esto principalmente ayudado por el factor climático, que es predominantemente seco. En cambio, en la zona sur del país, las condiciones climáticas son muy diferentes, por lo cual, un sistema de secado natural del alga no es aplicable, debido a ello la deshidratación de las algas se realiza mediante hornos, como el caso particular de *Gracilaria chilensis* usada para la producción de agar.

La implementación de planes de manejo en las cosechas comerciales, la planificación de cultivos extensivos y/o el manejo de la biomasa natural, deberían minimizar las perturbaciones generadas por la alta demanda de estos recursos, propendiendo a la conservación de estos hábitats costeros. La zona austral de nuestro país ofrece excelentes condiciones naturales para el cultivo de *Macrocystis sp.*, puesto que cuenta con comunidades costeras familiarizadas y con conocimientos básicos respecto a los recursos algales a nivel general, que además presentan dificultades económicas debido a la sobreexplotación de las macroalgas de interés comercial, por lo que la diversificación del sector, no sólo tiene importancia económica, sino que también un gran impacto social (Gutiérrez, 2001). Por su parte Vásquez (2001), declara que la creciente industria del cultivo del abalón y el erizo, donde las algas pardas constituyen su principal recurso alimentario, predicen serias consecuencias para los hábitat costeros donde estas algas son los organismos estructuradores del paisaje.

En conclusión, podemos decir que con el desarrollo de una industria abalonera creciente y el desarrollo del cultivo de otras especies marinas herbívoras, determinará que la disponibilidad de algas será un factor crítico de éxito, que debe ser solucionado a través del desarrollo de cultivos masivos de macroalgas, además del desarrollo de tecnologías que permitan disponer de este recurso fuera de temporada.

1.2 El ensilado como una solución a la problemática

Las praderas naturales, tanto de pastos como de algas, se caracterizan por una marcada estacionalidad en su tasa de crecimiento, lo que se traduce en que la disponibilidad de alimento sea alta en algunas estaciones del año y escasa en otras. Pero, como los requerimientos alimenticios de los animales son relativamente constantes a lo largo del año, se hace necesario suplir esta escasez de alimento, recolectando en la temporada de alto crecimiento de la

pradera el insumo, para conservarlo por algún medio y entregarlo en la época de baja productividad.

Para este trabajo se optó por “ensilar” el alga *Macrocystis pyrifera*, mediante un método usado ampliamente en la agricultura tradicional y que permite la conservación de forrajes para ser usados después de un periodo prolongado.

Aguila (1997), recomienda el ensilaje de praderas para aquellas zonas donde el ambiente es de temperatura fresca, aire húmedo y con inestabilidad atmosférica, en forma de lluvias o lloviznas alternadas con períodos cortos o largos de buen tiempo.

De acuerdo a la experiencia del área agrícola, lo más indicado para la conservación de forrajes, si se cuenta con un clima adecuado para tal efecto, es la henificación o secado natural (com. pers., M. Toneatti). La zona donde se realizó este estudio no presenta las mejores condiciones climáticas para henificar, principalmente debido a la inestabilidad climática, generalmente expresada en forma de constantes lluvias, optándose por la posibilidad de ensilar.

Buxadé (1995), define al ensilado como un método de conservación de forrajes (u otros alimentos), con un elevado contenido de humedad, protegido del aire, de la luz y de la humedad exterior, con un mínimo de pérdidas en materia seca y en valor nutritivo, con buena palatabilidad y sin productos tóxicos para los animales. Como base en esta investigación, se usará la información disponible para ensilaje de praderas, ya que es lo que más se asemeja a las condiciones posibles de experimentar.

El proceso de ensilaje, se puede dividir en varias etapas claramente diferenciables desde el punto de vista de las reacciones bioquímicas que se producen en la biomasa vegetal.

La primera etapa, conocida como etapa aeróbica, está dada principalmente por la respiración celular de la planta desde que es cortada hasta cuando el silo es sellado, además de contar con la acción de diversos microorganismos aeróbicos (Buxadé, op. cit.)

Una vez que el oxígeno es consumido en el interior del silo, comienza la etapa anaeróbica. Aquí se produce el proceso de fermentación, el que se caracteriza por la acción de tres grupos de microorganismos: bacterias lácticas (*Lactobacillus casei* - *Streptococcus faecium*), bacterias del género *Clostridium* (*Clostridium spp.*) y levaduras, que compiten entre si por las fuentes energéticas presentes en el ensilaje. El resultado de esta competencia es de crucial importancia para la calidad final del producto (UACH, 1987).

Al abrir el silo nos encontramos frente a la segunda etapa aeróbica del proceso, la cual es difícil de controlar y que afecta la estabilidad y la utilización posterior del ensilaje.

Hiriart (1998), define puntualmente cinco fases en la fermentación del ensilado:

1. Comienza cuando se corta el forraje y se coloca en el silo. Incluye la respiración final de las células con producción de calor y CO₂.
2. Final de la respiración en las células y principio de la producción de ácido acético.
3. El ácido acético actúa bajando el pH lo suficiente para impedir el crecimiento de bacterias indeseadas. Cuando las bacterias ácido acéticas (géneros *Leuconostoc*, *Pediococcus*, entre otras), que producen ácido acético comienzan a disminuir, por no resistir bajos pH, comienza el crecimiento de las bacterias productoras de ácido láctico. Aquí ocurre el asentamiento del forraje en el silo además de una alta salida de "jugos". Esta etapa tomaría un máximo de 4 a 5 días.

4. La etapa de la fermentación láctica, comienza entre el día 3 al 5 y requiere de 15 a 20 días para completarse. Esta etapa es dominada por las bacterias ácido lácticas produciendo un aumento en la acidez e interrumpiendo la acción bacteriana posterior.
5. Periodo indefinido. Si se forma suficiente ácido láctico y acético para impedir la actividad bacteriana, esta fase es sólo un periodo en que el silo permanece estable.

Estas cinco fases son afectadas por la temperatura del ensilado, el contenido de materia seca en el forraje original, el pH y la cantidad de carbohidratos solubles necesarios para la fermentación del vegetal.

En forma general, podemos decir que el proceso de fermentación en el ensilaje está dado por tres puntos críticos:

-  Cantidad de carbohidratos solubles en el forraje.
-  Porcentaje de materia seca del forraje, y
-  Capacidad buffer que presenta el forraje.

De acuerdo con esto, una alta cantidad de carbohidratos solubles disponibles, un alto porcentaje de materia seca en el forraje y una baja capacidad buffer ayudarán a que el ensilaje resulte exitoso.

Un premarchito o presecado, aplicado al forraje aumenta el contenido de carbohidratos solubles en la materia seca del ensilaje y sube la concentración de ácido láctico en el total de ácidos del proceso. (Marsh, 1979, fide UACH, op. cit.).

Según Alomar et al (1993), el premarchitamiento previene la producción de efluentes, los que a su vez, están relacionados con pérdidas importantes de

nutrientes del forraje, especialmente sustancias nitrogenadas, ácidos orgánicos, minerales y carbohidratos solubles.

Un trabajo de la Universidad Austral de Chile (UACH, op.cit.), define tres factores como importantes en una buena técnica de ensilado:

-  Tamaño de picado del forraje
-  Velocidad de llenado del silo
-  Compactación y sellado

Respecto a la velocidad de llenado, esto no fue considerado como un punto difícil de controlar, ya que en nuestro caso el ensilaje fue hecho en pequeñas cantidades comparado con los ensilajes típicos de praderas, lográndose llenar el silo con el material en tiempos relativamente cortos.

El tamaño de picado depende del tipo de silo a llenar y del porcentaje de materia seca del forraje, permitiéndose una mayor longitud del forraje cuando menor es la materia seca. Para porcentajes de materia seca menores al 20% se recomienda un picado de 20 cm como longitud máxima (Raymond et al., 1972, fide UACH, op. cit.).

La compactación y sellado del silo también fueron aspectos fácilmente manejables para nuestro caso de silos pequeños (Figura 1).

El proceso de conservación de forrajes, inevitablemente presenta pérdidas de masa vegetal y consecuentemente, un deterioro del valor nutritivo. Por esto, los objetivos principales que enfoca la conservación son minimizar las pérdidas en materia seca y minimizar la pérdida en valor nutritivo del forraje (Ruiz, 1996).

Según Ruiz (op. cit.), alguna de las pérdidas de los ensilajes pueden ser clasificadas en:

- ✎ Pérdidas de campo, que se resume al material que es perdido cuando se corta el forraje, cuando se premarchita y cuando se transporta.
- ✎ Pérdidas de respiración en el silo,
- ✎ Pérdidas de putrefacción o descomposición aeróbica,
- ✎ Pérdidas de fermentación,
- ✎ Pérdidas por lixiviación.

Las pérdidas de campo, se resumen al material que es perdido cuando se corta el forraje, cuando se premarchita y cuando se transporta, no siendo el caso de algas recolectadas de la orilla de playas.

Las pérdidas por respiración en el silo y las de putrefacción son causadas por la presencia de oxígeno y son denominadas “pérdidas de oxidación”. Una vez que el material está en el silo, queda una cantidad de oxígeno que debe ser consumida, además del oxígeno que ingresará al sistema por las orillas o superficie del silo provocarán descomposición del material.

Las pérdidas fermentativas serán variables dependiendo de los nutrientes fermentados y los microorganismos que se vean involucrados. Las bacterias ácido lácticas transformarán azúcares en ácidos, derivando en pérdidas de materia seca fermentada que pueden fluctuar entre 0 y 33%. Por otro lado las bacterias clostrídicas y levaduras pueden producir pérdidas más altas, debido a la marcada producción de hidrógeno, etanol, anhídrido carbónico, además de la deaminación y decarboxilación a aminoácidos por *Clostridium spp* (McDonald et al, 1991, fide Ruiz, op. cit.). Este mismo autor, reporta que las pérdidas por fermentación pueden acarrear pérdidas en la materia seca del orden del 1 al 10%.

Las pérdidas por lixiviación corresponden a las pérdidas registradas en la eliminación de fluidos, que dependerán principalmente del contenido de humedad del material, incluyendo el tipo de compactación, tipo de silo y

pretratamiento del forraje. El líquido expulsado puede acarrear nutrientes de alta calidad como carbohidratos y proteínas solubles, ácidos orgánicos y minerales, por lo que este tipo de pérdida podría llegar a ser muy importante. También se debe considerar la potencial contaminación que pueden provocar estos efluentes.

Debido al gran uso del ensilaje como método de conservación de forrajes, ya han sido muchos y diversos los estudios que han hecho los especialistas de esta área. Son muchos y extremadamente variables los factores que influyen en la calidad del producto, de modo que resulta imposible estudiarlos en silos de gran tamaño (Hargreaves et al, 1986).

Ya se han intentado diseñar silos experimentales de tamaño reducido que permitan controlar los factores que intervienen en el proceso (Alomar et al, 1991). Entre los tipos de silos de fácil confección y que ha presentado buenos resultados están los fabricados con bolsas de polietileno a los que se han incluido algunos accesorios. Una modalidad más acabada de silos de laboratorio consiste en tubos plásticos (PVC), de 75 a 100 cm de largo y 10,5 cm de diámetro (Parker, 1978; fide Hargreaves et al, 1986). Nuestro modelo de silo está basado en esta modalidad, la cual se describe en el capítulo correspondiente.

1.3 El Alga

Macrocystis pyrifera, comúnmente denominada “huiró”, “sargazo” o “chascón”, es un alga perteneciente a la división Phaeophyta, más conocida como algas pardas. Una característica sobresaliente de las grandes algas pardas es que éstas presentan una diferenciación máxima en su cuerpo vegetativo, análoga a las plantas superiores. En ellas se distingue claramente un rizoide, en forma de

disco o grampón, uno o varios cauloides, parecidos a tallos y muchos filioles, generalmente aplanados (Hauenstein & González, 1994).

La zona denominada rizoide cumple la función de fijar el alga a un sustrato, mientras que los cauloides se asemejan al tallo en las plantas y los filioles a las hojas, ambos cumpliendo la función de fotosíntesis. *Macrocystis* también presenta la diferenciación, entre otras algas pardas, de poseer cistos que cumplen una función de flotadores que mantienen a la gran masa de alga flotando en la columna de agua. La clasificación sistemática del huiro es:

División	Phaeophyta
Orden	Laminariales
Familia	Lessoniaceae
Género	<i>Macrocystis</i>
Especie	<i>Macrocystis pyrifera</i> (Linnaeus) C. Agardh, 1820

Hahn (op. cit.), cita bastantes ejemplos en donde se usan macroalgas como un suplemento alimenticio en las dietas de abalón, incluyendo algas pardas, rojas y verdes. Los abalones prefieren usualmente algas pardas, pero existen algunas excepciones, algunos abalones en California prefieren algas pardas (*Macrocystis* spp., *Nereocystis* spp., *Egregia* spp. y *Eisenia* spp.), algas rojas (*Gigartina* spp., *Gelidium* spp. y *Plocamium* spp.) y algas verdes (*Ulva* spp.), (Hahn, op. cit.). El mismo autor, señala para abalones de Nueva Zelandia (*H. iris* y *H. australis*), en orden de preferencia por *Gracilaria* sp., *Glossophora* sp., *M. pyrifera*, *Lessonia variegata*, *Champia* sp., *Ulva lactuca*, y *Pterocladia* sp.

Las comunidades de macroalgas pardas más características de las costas chilenas son las estructuradas por *Lessonia* spp, *Macrocystis* spp y *Durvillaea antarctica*. Comercialmente, las algas pardas proveen la materia prima para la extracción de alginatos, los que tienen un variado uso en la industria farmacéutica, alimenticia y textil (Vásquez, 2001).

Especies de *Macrocystis* son bastantes comunes a lo largo de la costa chilena, formando generalmente pequeñas praderas en áreas relativamente calmas, crecen sobre piedras o bloques de regular tamaño, hasta profundidades no superiores a los 8-10 metros (Candia et al., 1979). Santelices (1989), describe a *M. pyrifera* como una planta de gran tamaño, que puede llegar a medir 20-30 metros de longitud, con hojas laterales lanceoladas que pueden medir 70 cm de largo y 30 cm de ancho.

La distribución de *M. pyrifera* es bastante discontinua. En el hemisferio norte se encuentra, casi continuamente desde Alaska hasta Baja California, mientras que en el Hemisferio Sur se encuentra en Sudáfrica, el sur de Australia, la costa Atlántica y Pacífica sudamericana. En Chile se encuentra desde el Cabo de Hornos hasta Valparaíso, desapareciendo en el norte chileno para reaparecer en el centro y norte del Perú (Santelices, op. cit.).

Ya se ha descrito el uso de *M. pyrifera* como parte en la dieta de animales (Avila, 2001; Jensen 1972, Rojkind, 1977, fide Castro et al., 1991; Moraga, 2001). También, el contenido o productos son de fácil recolección y manejo, *M. pyrifera* es un importante recurso que puede ser usado en diferentes formas (Castro et al, 1991). Así, este mismo autor concluye que *M. pyrifera* es un recurso potencial para la alimentación de no rumiantes y rumiantes, y su utilización como suplemento en dietas es sugerida.

Fundación Chile, a través de un Fondo de Transferencia Tecnológica (FTT), ha estado analizando aspectos biológicos y tecnológicos relacionados con el cultivo de *M. pyrifera* y sus potencialidades de industrialización, basándose en la necesidad de desarrollar el cultivo de macroalgas pardas como una alternativa de abastecer de alimento natural a la creciente industria abalonera del país (Augsburger, 2001). El mismo autor declara que esta alga, además de ser el alimento natural de los abalones, cuenta con los antecedentes necesarios para desarrollar su tecnología de cultivo.

Por otro lado, *M. pyrifera*, también ha estado en la mira de los investigadores como un producto para consumo humano (Gutiérrez, 2001). Algunos países asiáticos consumen macroalgas a gran escala. Entre las de mayor importancia comercial encontramos a los géneros *Laminaria* (Kombu), *Undaria* (Wakame) y *Porphyra* (Nori).

1.4 El Abalón

Los abalones son gastrópodos marinos con hábitos herbívoros, conociéndose alrededor de cien especies a nivel mundial, de las cuales unas quince son consideradas de importancia comercial. Se encuentran en casi todas las costas de aguas templadas y tropicales con excepción de Sudamérica y el este norteamericano (Hahn, 1989). Se conoce sólo un género para todas las especies de abalones, el *Haliotis*, siendo la especie que alcanza un mayor tamaño *Haliotis rufescens* o abalón rojo, pudiendo alcanzar una talla de cultivo de 27,5 centímetros y un peso de 1,7 kilogramos (Hahn, op. cit.). La especie que presentaría un mayor estudio alrededor del mundo es *Haliotis discus hannai* o abalón japonés. La clasificación sistemática del abalón rojo es la que describe a continuación:

Phylum	Mollusca
Clase	Gastropoda
Orden	Archeogastropoda
Familia	Haliotidae
Género	Haliotis
Especie	<i>Haliotis rufescens</i> (Swainson, 1822)

El abalón es un animal de hábitos nocturnos que se alimenta naturalmente de algas. Los juveniles recién asentados consumen diatomeas bentónicas hasta que han alcanzado una talla cercana a los 10 mm, y los juveniles comienzan a consumir macroalgas en orden del 10 al 30% del peso corporal cada día. Esto principalmente por el alto contenido en agua y bajo contenido proteico del alga

(Tabla 1). Debido a esto se hace necesario disponer de grandes cantidades de este suministro para mantener un cultivo, aunque para algunas especies se ha llegado a la dependencia completa de las dietas artificiales (Hahn, op. cit.). Para los países con una amplia trayectoria en el cultivo de abalones, el tipo de alimento que predomina es el pellet.

Tabla 1. Composición nutritiva de *Macrocystis* y otras macroalgas.

	<i>Macrocystis</i> Fundación Chile	<i>Macrocystis</i> Castro et al. 1991	<i>Macrocystis</i> Hepburn 1965		<i>Eisenia spp.</i> Hahn 1989		<i>Laminaria spp.</i> Hahn 1989	
%	Base Seca	Base Seca	Base Seca	Base Humeda	Base Seca	Base Humeda	Base Seca	Base Humeda
Humedad	88	-	12,6	86,6	-	47,5	-	42
Proteína	14	8,76	10,4	10,2	18,5	9,7	9	5,2
Lípidos	2	0,56	1,1	0,9	0,6	0,3	2,2	1,3
Fibra	9	7,74	-	-	5,9	3,1	6	3,5
Cenizas	53	36,67	41,8	36,5	24,6	12,9	28,1	16,3
Carbohidratos	42	46,27	-	-	50,5	26,5	54,7	31,7

En nuestro país se registra el primer cultivo de abalón a nivel experimental en el año 1979, como un proyecto para la introducción de la especie *Haliotis rufescens* con participación de la Universidad Católica del Norte y Fundación Chile (Viviani, 1981 fide Corazani e Illanes, 1996). Lobos (2001), atribuye el momento de partida de la industria del abalón en Chile para el año 1992, cuando fue aprobado, después de cinco años, el Estudio de Impacto Ambiental que autorizó el cultivo en el mar del abalón rojo (*H. rufescens*) en aguas al sur de la latitud 40° sur. Hoy en día se cultivan sólo dos especies de abalón en nuestro país, el abalón rojo (*Haliotis rufescens*) y el abalón japonés (*Haliotis discus hannai*).

La Resolución 20/77 del 30 de septiembre del 2002, que fija la nómina de especies hidrobiológicas vivas de importación autorizada, afirma que sólo se permite el cultivo del abalón rojo y japonés en circuito controlado, pero en el caso del abalón rojo, éste puede ser importado para su cultivo en sistemas abiertos y semi cerrados entre la zona comprendida entre las latitudes 42°21'55' sur y 46°00'00' sur, es decir, entre el Seno de Reloncaví y la

Península Skyring. Mientras que para el abalón japonés sólo se autorizó el cultivo en sistemas cerrados.

Actualmente el cultivo del abalón se realiza en la III, IV y V, para el caso del abalón rojo y japonés y en la X región sólo para el abalón rojo. El ciclo productivo va desde los 3-4 años, en el caso de la zona de Chiloé, el ritmo de crecimiento va desde los 1,8 a 2,0mm por mes, pero en la zona norte es un poco mayor debido a la temperatura. Los productos que generalmente se comercializan desde nuestro país son el producto fresco vivo, enfriado, congelado, deshidratado y en conserva, siendo las tallas de cosecha entre los 80-90mm. (Aquanoticias N°76, 2003).

En el año 1995, se comenzaron las primeras exportaciones a pequeña escala del abalón hacia el mercado estadounidense. Luego en el año 1999, se exporta por primera vez 47 toneladas al mercado japonés, vendiéndose principalmente como producto entero congelado, en calibres de 80-90 milímetros. Actualmente unas catorce empresas se dedican al cultivo del abalón en nuestro país, algunas de las cuales cuentan con todo el ciclo productivo de la especie. En el año 2002 se produjeron y exportaron 83 toneladas de abalón, principalmente abalón rojo, por un valor de US\$ 1.683.000 (precio FOB), a un valor por kilo de US\$ 20,78. La proyecciones para el 2003 son de 150-180 toneladas. (Aquanoticias N°76, 2003).

II. OBJETIVOS

Objetivo General:

 Evaluar una técnica de ensilaje para algas usando procedimientos agrícolas para ensilar praderas.

Objetivos Específicos:

1. Diseño y evaluación de un silo experimental.
2. Determinar la factibilidad de ensilar el alga *Macrocystis pyrifera*.
3. Conocer el cambio en la composición proximal del alga *M. pyrifera* después de ser ensilada.
4. Determinar si el abalón rojo *Haliotis rufescens* consume el ensilado de algas.

Hipótesis de Trabajo

El fuerte crecimiento que está viviendo la industria abalonera en nuestro país, el desarrollo de otros cultivos de herbívoros marinos y la necesidad de disponer en forma permanente del recurso alga como principal fuente de alimento para estas especies, ha llevado a la búsqueda de caminos alternativos para proveer de dicho recurso. Ya se ha desarrollado y se están perfeccionando las técnicas de cultivo de macroalgas como una fuente estable de alimento para abalones, también se están realizando planes de manejo para enfrentar de mejor forma el impacto que produce la recolección de macroalgas a nivel nacional y se trabaja en la elaboración de alimentos artificiales, entre otros. Sin embargo una alternativa adecuada es la posibilidad de utilizar algazos, que en cierta época del año son muy abundantes. En este trabajo se evaluará la posibilidad de ensilar algas usando técnicas del área agrícola, con el propósito de dar una alternativa a la estacionalidad que presenta el recurso y que acarrea consigo una limitante en la disponibilidad del alimento para herbívoros marinos durante todo el año.

III. MATERIALES Y METODOS

Este estudio fue realizado en la estación experimental Quillaipe, uno de los centros de Fundación Chile en la décima región, entre Septiembre y Diciembre del año 2001.

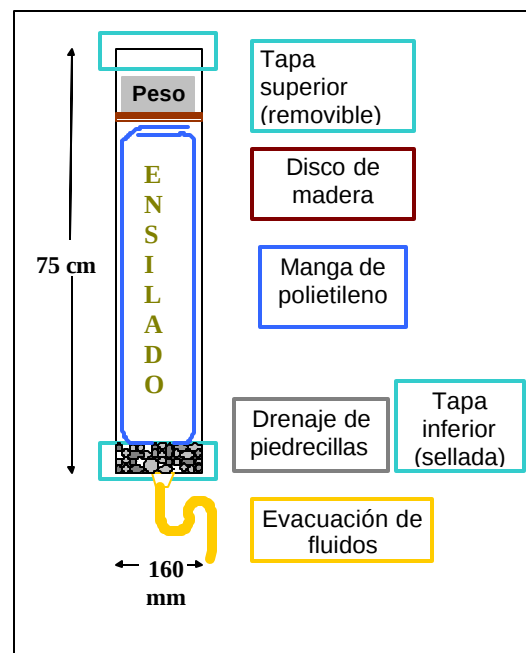
La mayor parte de la metodología usada en este experimento ha sido adoptada de estudios destinados a la investigación agrícola, en el área que abarca el ensilaje de praderas.

3.1 Preparación del Silo

El modelo de silo usado, fue una adaptación de un silo experimental propuesto por Hargreaves et al. (1986), que describe la comparación entre dos silos experimentales para la investigación de ensilaje de pradera.

El silo fue construido en base a tubos de PVC de 160mm de diámetro por 75cm de altura (Figura 1). En los extremos se usaron tapas de PVC y en la parte inferior del silo, la tapa fue adherida con un pegamento especial para este material. En esta zona fueron hechos múltiples agujeros de 3mm dentro de una circunferencia de 2cm de diámetro en el centro de la misma, para pegar en la parte exterior una cánula destinada a la

Figura 1. Silo de PVC y sus partes.



evacuación de los fluidos del proceso (Figura 2). La tapa superior es removible y sólo fue sellada con silicona una vez llenado el silo.

Figura 2. Cánula plástica para la evacuación de los fluidos.



Dentro del silo, se colocan piedras redondas de un centímetro de diámetro, dispuestas en el círculo de orificios para drenaje, y evitar así también, que el material obstaculice la salida de líquidos. Las piedras se desinfectaron con cloro diluido al 10%. Se instaló una manga plástica de 80 cm de alto, 20 cm de diámetro y 0,25mm de espesor, como un forro interior del silo.

Un disco de madera de 1 ½ pulgadas de grosor y del mismo diámetro del tubo de PVC se introdujo dentro de éste, con la función de homogenizar el peso aplicado sobre el ensilado, cumpliendo también una función de sello. Este disco fue cortado con una sierra eléctrica de precisión, de modo que el disco fuera del diámetro exacto para entrar en el tubo. El peso con que se presiona el ensilado, esta constituido por una bolsa plástica con 4 Kg de piedras (también desinfectadas con cloro al 10%), puesta sobre el disco de madera cuando el silo es sellado.

Fueron fabricados 12 silos, los que una vez sellados fueron puestos en un mesón de madera adaptado para tal efecto.

3.2 Recolección de *Macrocystis pyrifera*

El alga fue comprada en dos oportunidades a pescadores de la zona de Carelmapu, en la décima región, desde donde se transportó hasta la estación experimental en barriles de 200 litros con agua de mar. Para ambos casos, el alga se dejó en la estación en un estanque de 1000 litros con flujo constante de agua de mar hasta el día siguiente, en que se realizaron las experiencias, para la elaboración de la curva de desecación previa al ensilaje. La cantidad de alga adquirida cada vez, bordeó los 200 Kg, totalizando unos 400 Kg para ambas experiencias, de las cuales sólo fueron usados las frondas, estipes y aerocistos, excluyéndose el disco de fijación.

3.3 Curva de desecación

Para hacer una estimación de la velocidad de secado o pérdida de humedad del alga, se elaboró una curva de desecación, la cual fue hecha durante un día.

La metodología usada consistió en extender el alga a la intemperie, en una playa de piedrecillas del centro experimental (Figura 3), midiendo cada una hora la pérdida en peso de ésta.

Figura 3. El alga es puesta a la intemperie para bajar la humedad.



Se comenzó extendiendo una cantidad inicial de 20 kilogramos de alga en la playa, de forma de que ésta quedara lo más expuesta posible al sol y al aire, tratando de evitar las aglomeraciones y la presencia de rizoides o zona cercana al disco de fijación. Cada una hora se tomó toda el alga y se puso en una malla para ser pesada con un dinamómetro. Luego de medir el peso, se devolvió el alga a la superficie del terreno para continuar con el secado y volver a medir una hora después.

La experiencia fue repetida dos veces, en dos días distintos y los datos fueron llevados a una gráfica para referencia del tiempo de secado que el alga tomaría, al momento de efectuar el proceso de deshidratación para la obtención de los tratamientos a ensilar.

3.4 Proceso de ensilado

Se ensiló de acuerdo a los siguientes porcentajes en materia seca (MS):

- ▶ Grupo Control (C): Se ensiló el alga justo al momento de ser sacada del agua.
- ▶ Tratamiento 1 (T-1): 20% MS
- ▶ Tratamiento 2 (T-2): 30% MS
- ▶ Tratamiento 3 (T-3): 35% MS

Cada tratamiento contó con tres réplicas.

El proceso de ensilado fue hecho de acuerdo a las recomendaciones de UACH (1987), descritas a continuación :

- ▶ Tamaño del picado. El picado del alga fue realizado sobre un mesón de madera de 1 m², usando un machete común. El alga se puso sobre el mesón en poca cantidad, y así obtener comodidad y rapidez suficiente, para picar el

alga con una pérdida mínima y en el menor tiempo posible. Se picó en cuadrantes, de modo que los trozos estuvieran en un rango de 5 a 20 cm². La diferencia en el tamaño de los trozos fue dada de acuerdo si la parte del alga picada era fronda o estipe, aunque también dependió si esta era tierna o gruesa.

- ▶ Velocidad de llenado. El proceso de llenar los silos duró aproximadamente una hora por cada tratamiento.
- ▶ Compactación y sellado. El alga fue puesta en el silo por capas, las cuales fueron presionadas manualmente, repitiendo el proceso hasta que el silo tuviera la cantidad suficiente de material. Una vez que el silo tenía la cantidad suficiente de alga, aproximadamente 6 Kg, se procedió a doblar la manga plástica que sobresalía en pliegues y posteriormente poner el disco de madera. Primero, el disco fue presionado manualmente para luego comenzar a aplicar una mayor presión usando un tubo de PVC de 10cm de diámetro y 1m de largo. Una vez que el silo estuvo suficientemente compactado se puso el peso de 4 Kg de piedras, las que también fueron sometidas a presión manual. Finalmente se puso la tapa del silo y se selló con silicona para ser puesto en el mesón de soporte.

Una vez que el silo estuvo lleno y sellado pesó aproximadamente 12 Kg (2 Kg de silo, 4 Kg de peso en piedras y 6 Kg de algas) y se permitió un período de 55 días para la estabilización del proceso.

3.5 Apertura de los silos y Análisis Proximal

Los silos fueron abiertos 55 días después de haber iniciado el proceso. Una muestra de cada silo fue puesta en bolsas esterilizadas y posteriormente enfriadas para ser enviadas al laboratorio para el análisis proximal. El resto del

producto ensilado se congeló para ser usados en la evaluación posterior. El tratamiento que obtuvo los mejores resultados de apariencia, fue utilizado para las evaluaciones posteriores, uno fue puesto en congelador y los otros dos fueron sellados nuevamente.

3.6 Determinación del desarrollo bacteriano del ensilado

Con el propósito de evaluar la colonización bacteriana del ensilado después de ser sacado del silo, se realizó un análisis microbiológico de recuento de aerobios mesófilos de acuerdo a la normativa [LAB/NT7/00](#), Agosto 2000, SERNAPESCA, para medir la colonización bacteriana en el ensilaje una vez puesto en el agua. El análisis se basó en la medición de unidades formadoras de colonias por gramo de ensilado (UFC/g), y su variación a través del tiempo.

Para este análisis se usó ensilado recién sacado del silo del tratamiento T-3, el cual se puso en un recipiente especialmente preparado para ello en un estanque de prueba, muestreándose cada 24 horas durante cuatro días.

3.7 Evaluación de la hidratación del ensilado en el agua

Se midió el aumento en peso por hidratación que sufrió el ensilado al ser puesto en el agua. La prueba se efectuó para cada tratamiento y consistió en poner 70 gramos de ensilado en una malla y posteriormente introducirlo en los estanques bajo las mismas condiciones usadas para la experiencia de consumo. Fueron evaluados todos los tratamientos del ensilado además de un grupo control de alga fresca, que estuvo expuesta a la superficie por un corto periodo. Cada hora fue medido el peso de la malla y se calculó el aumento en peso del material evaluado.

3.9 Observación del consumo del ensilado

Con el objeto de evaluar empíricamente la aceptación del producto ensilado, se observó durante dos semanas el consumo de los ensilados por los abalones.

Las estructuras de confinamiento usadas son las que describe Lobos (2001), probando dietas experimentales para abalones. Se abasteció con agua de mar filtrada y esterilizada con luz UV. La tasa de recambio utilizado para el estanque fue de 1,5 y la temperatura media del agua fue de 14,2°C.

El consumo fue observado para todos los tratamientos de ensilado obtenidos en la experiencia previa, además de incluir otro grupo agregado para esta experiencia, en total 5 tratamientos; C: correspondiente al grupo control del ensilado; T-1, T-2 y T-3: correspondientes a los tres tratamientos de ensilado; y finalmente un grupo control para esta experiencia que consistió en alga fresca.

La cantidad de alimento a proporcionar se calculó de acuerdo a Fundación Chile (1998), que considera la cantidad de alimento que los abalones consumirían en forma individual. Se alimentó cada 3 días durante dos semanas, entregando una cantidad de 70 g de alimento cada vez. Cada tres días, se tomó el alimento no consumido, se pesó con una balanza analítica ($\pm 0,1$ g), mientras se depositó la nueva cantidad de alimento (70 g otra vez) en cada canasto. Previamente los abalones fueron sometidos a una etapa de ayuno que duró una semana.

3.10 Análisis estadístico

Una vez que los resultados del análisis proximal de los ensilados fueron obtenidos, se realizó un análisis de varianza, previa verificación del cumplimiento de los supuestos, de acuerdo a la homogenización de la

información, usando la función arco coseno, donde $f(x)=\cos^{-1}v(1-x)$, descrita por Sokal & Rohlf (1969). Para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos, se realizó un Test de Tuckey al 95% de confianza.

Para los diferentes cálculos respecto a la verificación de homogeneidad de varianzas, Test de Tukey y formulación de gráficos fueron usados los programas computacionales Excel XP y StatMost 3.0.

IV. RESULTADOS

4.1 Los silos

Los silos usados presentaron resultados satisfactorios, puesto que no se detectó descomposición aeróbica en el producto (pudrición). También el posterior análisis químico del producto, no cambió en gran manera. Los silos mostraron evitar eficientemente la entrada de oxígeno al interior del mismo.

El drenaje de piedras funcionó adecuadamente, permitiendo en forma efectiva que el alga no bloqueara la salida de líquidos y que estos pudieran ser evacuados completamente.

La manga plástica, cumplió la función de aislar por completo el material del exterior, ayudada por el disco de madera, distribuyendo adecuadamente el peso, evitando que los pliegues de la manga estuvieran expuestos a la entrada de aire.

Respecto al material usado como peso (bolsa con piedras), no observó señal de contacto con el alga, ya sea a través de fluidos o humedad en éste, que pudiese causar contaminación del material ensilado.

4.2 El ensilado

Los silos fueron abiertos el día 21 de noviembre del 2001, cumpliendo 55 días desde que fueron sellados. En la Figura 4b se muestra el resultado del ensilaje recién abiertos los silos y a continuación se describe lo observado:

- ▶ Grupo Control (C). Este grupo a diferencia de los otros tratamientos mostró una constante evacuación de fluido durante aproximadamente 24 horas post sellado, posterior a lo cual se procedió al cerrado del efluente. Presentó olor suave ácido y la textura muy parecida al alga fresca con un color más oscuro.
- ▶ Tratamiento 1 (T-1). El olor es más suave que en el grupo control pero conserva un olor ácido. El periodo de escurrimiento de fluido no superó las 5 horas y estuvo concentrado durante el proceso de sellado.
- ▶ Tratamiento 2 (T-2). El olor es más suave que en el grupo control y que T-1, también se sigue conservando la característica de olor ácido. El escurrimiento fue mínimo durante el proceso de sellado.
- ▶ Tratamiento 3 (T-3). El tratamiento que presentó la mejor apariencia en cuanto a textura, olor y sabor, muy similar a alga fresca y en las mismas condiciones físicas que cuando fue sellado. Casi no hubo escurrimiento de fluidos, incluso durante el proceso de sellado.

En la figura 4a se muestran los productos ensilados, después de haber sido congelados para la observación de consumo.



Figura 4a. Los distintos tratamientos después de haber estado congelados para la experiencia de consumo. En la parte superior a la izquierda T-2, a su derecha T-1. En la parte inferior a la derecha el grupo control C y a su izquierda T-3.

Figura 4b. Producto resultado del proceso de ensilado mostrando todos los tratamientos.



Grupo Control C



Tratamiento 1 (T-1)



Tratamiento 2 (T-2)



Tratamiento 3 (T-3)

4.3 Análisis proximal

La composición proximal de los ensilados y las diferencias estadísticas encontradas ($p > 0,05$), se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición proximal de los ensilajes (% base seca).

	Alga Fresca	C	T-1	T-2	T-3
MS	10,4600 ± 0,0000 ^a	11,9500 ± 0,5086 ^{bd}	12,7500 ± 0,1600 ^c	12,3600 ± 0,5027 ^{cd}	15,2133 ± 0,8591 ^e
Proteína	14,7600 ± 0,2300 ^a	12,5167 ± 0,9166 ^{bc}	12,2333 ± 1,0451 ^b	12,6733 ± 0,8538 ^{bc}	13,4767 ± 0,7773 ^c
EE	0,5000 ± 0,0600 ^a	0,6567 ± 0,0814 ^a	0,8533 ± 0,4796 ^a	0,6833 ± 0,4908 ^a	0,4867 ± 0,2768 ^a
Fibra	6,9267 ± 0,0751 ^a	8,9667 ± 0,5886 ^b	9,2033 ± 0,3656 ^b	8,7967 ± 0,5216 ^b	7,9967 ± 0,6998 ^c
Cenizas	41,9067 ± 0,4450 ^a	40,0667 ± 1,6174 ^b	38,8367 ± 0,3853 ^b	41,9133 ± 1,2825 ^a	40,0867 ± 0,8069 ^b
ENN	35,9100 ± 0,8100 ^a	37,8233 ± 1,6457 ^b	38,8867 ± 1,0273 ^b	35,9500 ± 1,2016 ^a	37,9633 ± 0,1504 ^b

Los valores corresponden a la media con la desviación estándar (n=3 réplicas).

Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$).

En la Figura 5 se muestra la variación que presentaron los nutrientes de acuerdo al tratamiento aplicado, observándose lo siguiente:

La materia seca (MS) en general, aumentó con el tiempo de desecado del alga, alcanzando su mayor valor en el T-3 con 15,21%, y el menor para el alga fresca, de 10,46%. Las diferencias fueron significativas ($p > 0,05$) cuando se comparó el alga fresca con los tratamientos.

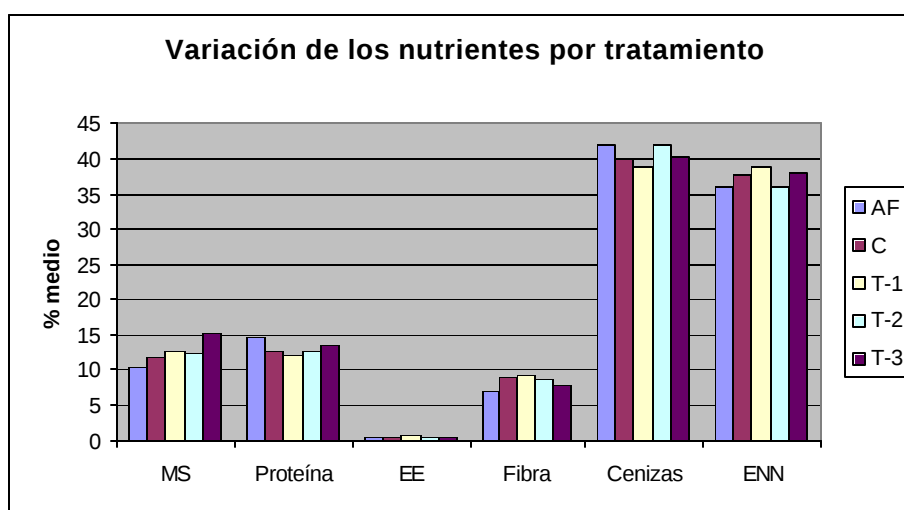
Para las proteínas se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el alga fresca y todos los tratamientos. El valor máximo correspondió al alga fresca, con 14,76% (base seca), siendo el máximo valor alcanzado entre los tratamientos ensilados el de T-3, con 13,5%, y un valor mínimo para el T-1 de 12,23%.

Para el caso del extracto etéreo (EE), no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el alga fresca y los tratamientos.

Para la fibra, se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) al comparar el alga fresca con los tratamientos, siendo el alga fresca quien mostró un menor valor (6,9%), mientras que T-1 alcanzó el mayor porcentaje con 9,2%.

Para las cenizas y el extracto no nitrogenado (ENN) no se observaron diferencias ($p > 0,05$) significativas entre el alga fresca y T-2.

Figura 5. Variación que presentaron el análisis proximal por cada tratamiento



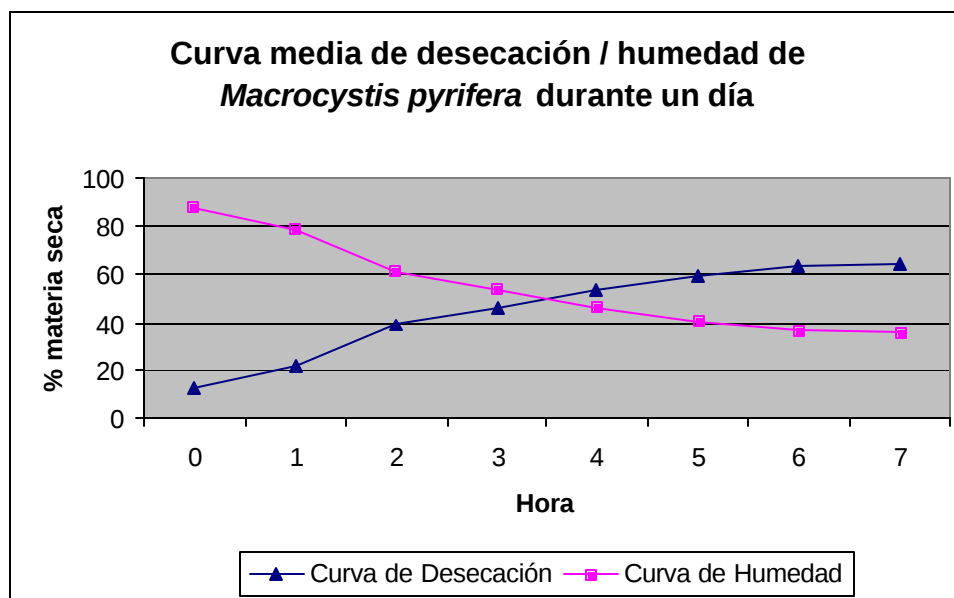
Aunque se observaron diferencias estadísticas entre el alga fresca y los tratamientos, no se considera que éstos tuvieran una gran pérdida de nutrientes.

4.4 Curva de desecación

Dentro del lapso de prueba de 7 horas, el alga alcanzó un máximo de 73,6% de materia seca. Los valores obtenidos en las dos curvas de desecación se promediaron para obtener la curva media de desecación mostrada en la Figura 6, que responde a la ecuación " $y = 8,546064 + 27,5627 \ln(x)$ ", con un coeficiente de correlación $r=0,99797$. Durante las dos primeras horas (11:00am-13:00pm),

el alga experimentó una deshidratación acelerada mostrando un aumento medio del 80% de su materia seca. Entre la tercera y cuarta hora (media tarde), se observó que el alga siguió perdiendo humedad a un ritmo más lento, aumentando la materia seca en un rango entre 16 a 18% por hora, para luego disminuir la pérdida de agua paulatinamente en forma más lenta y aumentando su materia seca sólo en un 2% por hora y pasar finalmente a estabilizarse al fin del día. La temperatura ambiental media y la humedad relativa del aire fueron de 15°C y 59% respectivamente, de acuerdo a información meteorológica del Aeropuerto “El Tepual” de Puerto Montt para la zona de Quillaípe.

Figura 6. Curvas de desecación y humedad para el alga fresca durante un día, expresadas como cambio en el porcentaje de la materia seca

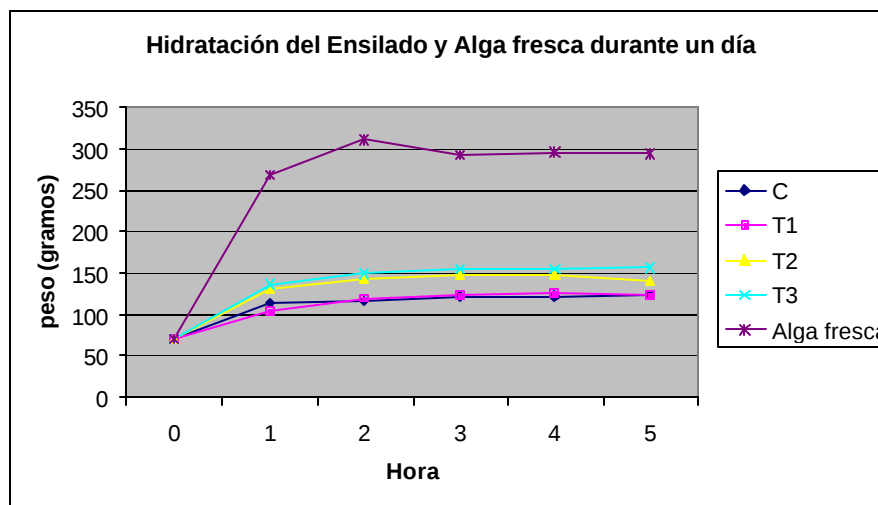


4.5 Curva de hidratación del ensilado

La curva de hidratación mantuvo un comportamiento similar tanto para el alga fresca como para los tratamientos de ensilados, hidratándose fuertemente durante la primera hora en el agua, para luego seguir hidratándose en forma más suave hasta alcanzar la estabilidad después de tres horas de inmersión.

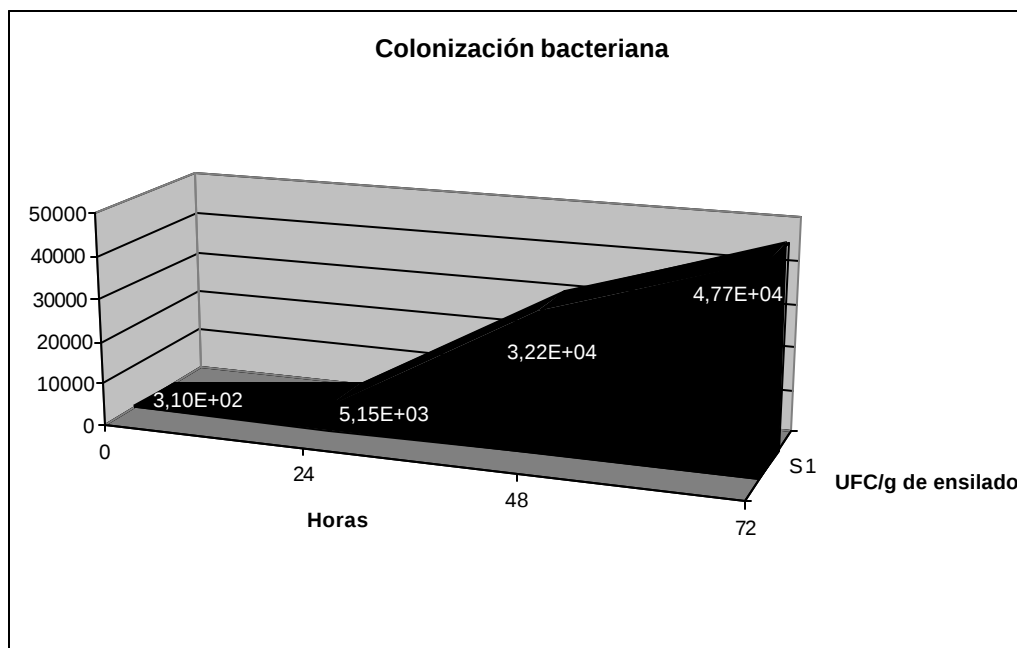
Para el caso del alga fresca, ésta alcanzó el mayor nivel de hidratación, sobre un 420% del peso inicial (Figura 7). Los tratamientos experimentaron una hidratación menor, para el caso del grupo C: 174,76%, T-1: 177,39%, T-2: 207,39% y T-3: 222,19%.

Figura 7. Curvas de hidratación para el alga fresca y los tratamientos durante un día



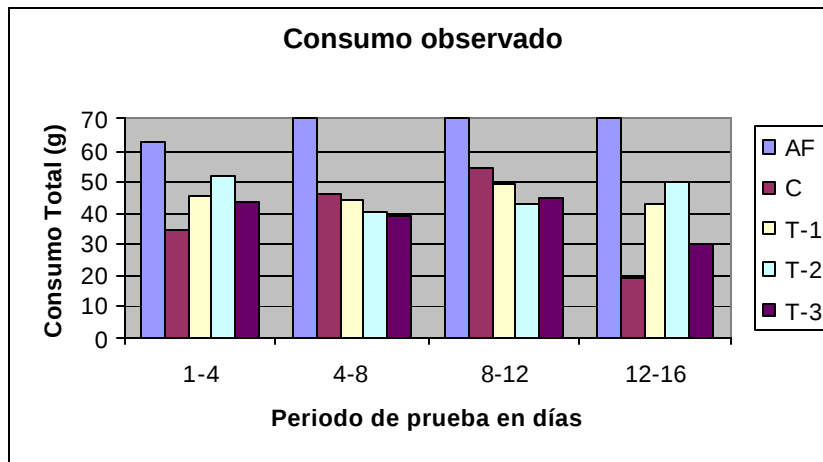
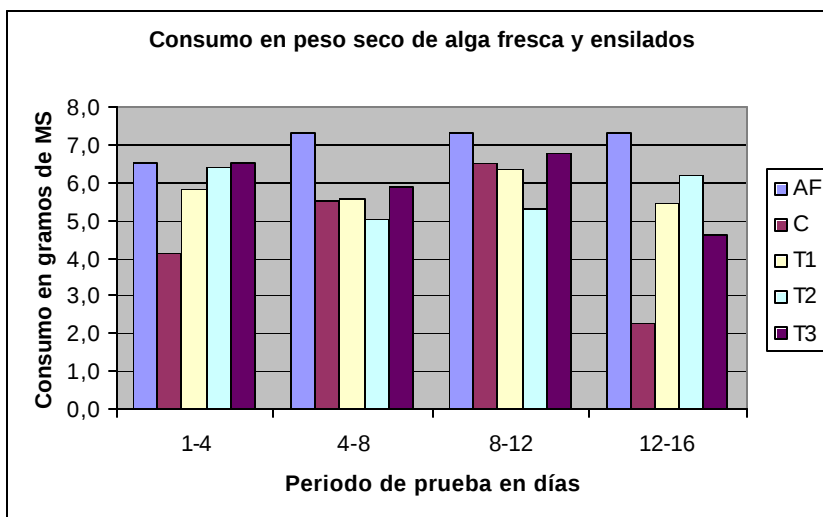
4.6 Desarrollo bacteriano

El contenido bacteriano inicial fue de 310 UFC/g en el producto ensilado al momento previo de ser puesto en el agua. Después de tres días de inmersión, se observó un crecimiento que alcanzó una media de 47.000 UFC/g de ensilado, (Figura 8).

Figura 8. Colonización bacteriana en el ensilado durante 72 horas de inmersión

4.7 Observación del consumo del ensilado

Para el caso del alga fresca, entre los días 1 al 4, los abalones consumieron un 89% del alimento entregado para luego consumir el 100% del alimento por el resto de la experiencia. Para el caso de los tratamientos, se observó que los abalones consumieron el ensilado, aunque sin ningún patrón fijo que lo caracterizara, consumiendo una cantidad que varió entre el 40 y 79% del alimento entregado. El consumo medio por periodo de prueba, medido como peso total del alimento, fue de 97% para el alga fresca, 55% para C, 65% para T-1, 66% para T-2 y 56% para T-3. Se graficó el consumo en peso bruto y además se estandarizó la curva, llevando el consumo bruto a consumo de materia seca (Figuras 9 y 10).

Figura 9. Consumo bruto de alga fresca y ensilado por parte de los abalones**Figura 10. Consumo aparente del alga fresca y ensilados expresados como peso seco**

V. DISCUSION

Aunque no se conocen antecedentes acerca de experiencias similares, podemos afirmar que es factible ensilar macroalgas, representadas en este caso por el alga *Macrocystis pyrifera*. Para esta experiencia, el mejor ensilado correspondió a un tratamiento (T-3), con un presecado hasta 35% de materia seca.

5.1 Los silos

Los silos usados, propuestos por Hargreaves et al. (1986), mostraron una buena respuesta con respecto a la simplicidad, facilidad de manejo y obtención satisfactoria de los resultados. La técnica usada para ensilar el alga, fue seguida de acuerdo a la experiencia agrícola, logrando un producto palativamente neutro y similar al alga fresca.

El drenaje del silo funcionó perfectamente, pero cabe señalar, que entre los objetivos de este estudio no fue contemplado el análisis de los efluentes del proceso, por lo que el sistema de evacuación de fluidos fue muy simple. Este mismo tipo de drenaje puede incluir una válvula que permita la regulación y obtención de los líquidos para análisis posteriores que pueden mostrar datos tan interesantes como la pérdida de nutrientes que podría escapar a través de estos fluidos.

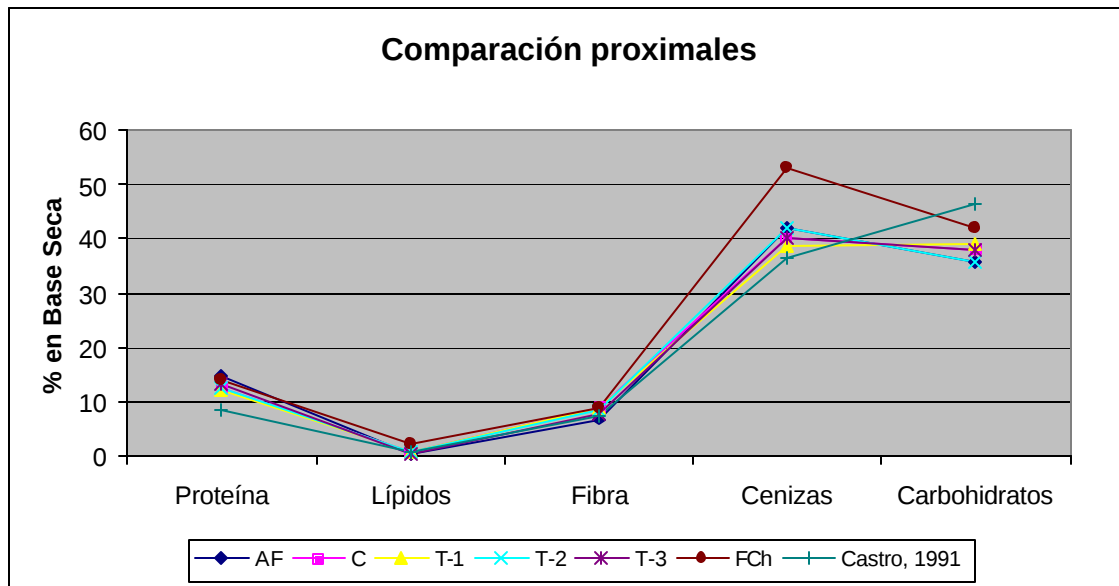
Los componentes internos del silo, como la manga plástica, el disco de madera y el peso, funcionaron de forma satisfactoria, tanto en forma individual como en su conjunto, al aislar el alga del medio exterior y contribuir a que el peso fuese correctamente distribuido a través del material, lo que se vio claramente mostrado en la forma compacta del producto ensilado.

En lo que respecta al peso, ya muchos estudios del área agrícola han experimentado una variable en este factor (Alomar et al, 1990; Hargreaves et al, 1986), lo que puede resultar en mejores productos dependiendo del nivel de presión aplicado. Para este caso, el tipo de silos que hemos fabricado permite que el peso pueda ser cambiado fácilmente y sin que éste requiera de formas específicas en su diseño, puesto que el disco de madera es quien distribuye el peso en el ensilado.

El silo en su conjunto funcionó en perfectas condiciones, siendo un instrumento fácil de construir y manejar, con posibilidades de adaptar otros accesorios o instrumentos de medición, por lo que se recomienda su uso para propósitos experimentales.

5.2 Composición proximal

Considerando la composición proximal: proteína, extracto etéreo, fibra, cenizas y extracto no nitrogenado, todos los tratamientos ensilados mantuvieron variaciones en sus concentraciones similares de acuerdo con la Figura 11. Sólo se observaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) cuando se compararon individualmente los tratamientos entre ellos (Figura 9 y 10; comparación proximales).

Figura 11. Comparación entre los proximales de este trabajo y otros publicados

Respecto de la materia seca, como se espera en ensilados de praderas, ésta se incrementó significativamente ($p > 0,05$) con el aumento en el tiempo de presecado (Aguila, 1997; Hargreaves et al, 1986; Hiriart, 1998; Ruiz, 1996; UACH, 1987) y al comparar el material original con los ensilados. Hepburn (1965), en un estudio que analizó las variaciones estacionales de la composición de *M. pyrifera* durante dos años (mostrado en la Tabla 1), concluyó que la materia seca alcanzó su valor máximo en los meses de Julio-Agosto (17,8%), con un mínimo en Noviembre (10,1%).

Se observó que el escurrimiento de jugos del proceso, fue mucho mayor en el grupo control C, que fue el grupo con una mayor pérdida en materia seca, lo que está de acuerdo con otros autores en ensilado de praderas (Aguila, 1997; Hargreaves et al, 1986; Hiriart, 1998; Ruiz, 1996; UACH, 1987). De acuerdo con Ruiz (1996), la reducción en el contenido de agua, especialmente en el material muy húmedo, contribuirá a obtener una fermentación más favorable, menores pérdidas totales en materia seca en el silo y mejorar, en la mayoría de los casos, el valor nutritivo de estos.

La proteínas mostraron una pequeña disminución, encontrándose diferencias estadísticas ($p > 0,05$) cuando se comparó el material original con los tratamientos. También, la proteína alcanzó su mayor valor, entre los tratamientos de ensilado, en T-3 (13,48%), disminuyendo un 9% del valor arrojado por el alga fresca (14,76%), pero que es una diferencia mínima cuando se piensa en la variación estacional que presenta el recurso en el estado natural. En ensilaje de praderas, Ruiz (op. cit), menciona que en regiones de alta pluviometría, como es el caso de la zona sur del país, son comunes los problemas derivados del ensilado directo de forrajes húmedos (contenidos de 15 a 20% de materia seca), que conducen a prolongados procesos de fermentación, con degradación de 60% o más de su proteína.

Analizando algas frescas, Westermeier & Chávez (2003), encontró variaciones entre 10-17% de proteína analizando estipe y fronda. También Hepburn (op. cit.), encontró variaciones que estuvieron entre 7,7 y 13,2% de proteína. Así, se podrían mejorar los niveles de proteína en ensilados, procurando cosechar de alga en épocas en que alcanza los pics de este nutriente. Otros estudios deben enfocarse en el análisis de la proteína, para observar si la calidad se mantiene después del proceso. Además, la medición del nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$) es considerado un factor importante a la hora de medir la calidad de un ensilaje (Aguila, 1997; Hiriart, 1998; Ruiz, 1996; UACH, 1987), debido a que una mala fermentación puede producir una deaminación significativa (como liberación de NH_3), lo que además de producir pérdidas en el nitrógeno disponible para el animal, afectará directamente el consumo del ensilado.

Al analizar los lípidos no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el alga fresca y todos los tratamientos. Westermeier & Chávez (op. cit.) señala la presencia de un patrón homogéneo en los lípidos, el cual se mantiene relativamente constante a través del año. Para Hepburn (op. cit.) los lípidos en algas frescas alcanzan el máximo en Noviembre (2,1%) y el mínimo en Junio (0,45%).

La fibra demostró un leve aumento en los tratamientos ensilados respecto del alga fresca. Se observó una leve disminución en la medida que la materia seca aumentó, algo que se considera esperable en ensilaje de praderas (UACH op. cit.).

Las cenizas también mostraron una variación mínima, observándose un leve aumento en T-2 (41,91%) respecto del alga fresca. Para Hepburn (op. cit.), en praderas naturales, éstas alcanzan su máximo en Agosto-Septiembre (45,9%) y mínimo en Diciembre-Enero (38,1%).

Para el caso de los carbohidratos, se observó un aumento en comparación con el material original. La alta concentración de estos compuestos en las algas podría ser una razón del buen resultado del ensilaje, debido a que éstos constituyen el sustrato nutricional del cual depende primordialmente la acción de la microflora fermentativa del material a ensilar (Aguila, 1997; Hargreaves et al, 1986; Hiriart, 1998; Ruiz, 1996; UACH, 1987).

Por otro lado, Westermeier & Chávez (op. cit.), encontró que *M. pyrifera* alcanzó su máximo nivel de proteína en otoño-invierno; lípidos en primavera-otoño; y carbohidratos en primavera-verano (Noviembre-Diciembre). De acuerdo a esto, podemos decir que nuestros valores están dentro de un rango que no está sesgado por las épocas de mínimos o máximos para el caso de la proteína, lípidos y carbohidratos. Cabe señalar, la importancia de cosechar el material a ensilar en la época que éste alcance su mayor valor nutritivo, puesto que esto será reflejado en la calidad del ensilaje.

5.3 Hidratación del ensilado

El alga fresca perdió agua rápidamente así como también la recuperó, sufriendo una hidratación superior al 400% en un periodo relativamente corto, para luego estabilizarse y mantener su masa durante el periodo de la experiencia. Todos los tratamientos siguieron un comportamiento similar, pero en un rango de hidratación más bajo (entre 175 y 222%). Debido a las características hidroscópicas de las macroalgas, producto del contenido de los ficocoloides, se observó que el tiempo de presecado incremento la capacidad del alga ensilada de absorber agua, apreciándose una relación directa entre la hidratación y la apariencia de esta, es decir, mientras mayor fue el tiempo de presecado del alga, más se asemejó el ensilado a la apariencia del alga fresca. Por esto, se deduce que en el tratamiento T-3, las características propias del alga fresca, fueron conservadas de mejor forma, especialmente lo que se refiere a sus características morfológicas.

5.4 Acción bacteriana

La colonización bacteriana en el ensilado no superó las 500.000 unidades formadoras de colonia por gramo de muestra (UFC/g), que de acuerdo a Fundación Chile (com. pers., A. Augsburg), es lo que se recomienda como indicador de la higiene general del proceso para alimento artificial. Después de tres días de prueba, sólo se bordearon las 50.000 UFC/g de ensilado. Lobos (2001), reporta una cantidad inicial de $4,8 \times 10^5$ a $1,02 \times 10^6$ UFC/g de alimento artificial en tres diferentes formulaciones, cantidad que disminuyó a 15.000-77.000 después de 48 horas de inmersión. En nuestro caso, esta baja concentración inicial de UFC/g podría deberse a que el tipo de análisis mide sólo las bacterias aeróbicas (recuento de aerobios mesófilos), y las bacterias presente en un ensilado son del tipo anaeróbicas, las cuales no fueron medidas por la dificultad de realizar dicho proceso en esta experiencia. Sólo se encontró

una baja concentración de bacterias aeróbicas al momento de iniciarse esta medición, y posteriormente, dicha concentración de bacterias, comenzó a colonizar el nuevo ambiente oxigenado. Quizás, una buena referencia respecto a que el proceso fue desarrollado bajo condiciones anaeróbicas. Decidir el tipo de bacterias y su incidencia en el ensilado de algas corresponde a otro tipo de análisis centrado en el reconocimiento de las bacterias que interactuarían en este proceso bioquímico.

5.5 Consumo

Aunque no se realizó un bioensayo respecto al consumo, se realizaron observaciones de consumo. Se pudo ver que los abalones consumieron el alga fresca casi en su totalidad (97%) durante el periodo de prueba. Respecto de los tratamientos, los abalones consumieron los ensilados en menor cantidad que el alga fresca. Como fue mostrado en las Figuras 9 y 10 (consumo bruto y consumo peso seco), se observa que el alga fresca fue consumida, notoriamente en mayor cantidad, que el resto de los ensilados, pero esta impresión está dada por la cantidad de agua presente en el alga fresca, que como se mencionó en el apartado referente a la hidratación, el alga se hidrató por sobre un 400% de su peso inicial (después de haber sido transportada). Así, cuando se estandarizó el consumo a cantidad de masa seca consumida, la cantidad aparente de producto consumido parece no tener tanta diferencia. También, cabe señalar la posibilidad que los ensilados presenten un mayor aporte energético, motivo por el cual el consumo sería menor, en comparación al alga fresca. Un mayor estudio respecto del consumo de ensilados de alga debe hacerse, para verificar que moluscos herbívoros comerían el producto, además de realizar pruebas acerca de la digestibilidad e influencia en el crecimiento sobre estos animales.

El proceso de ensilaje, como un proceso de conservación, acarrea inevitablemente pérdidas de masa y, para el caso del ensilado de praderas, un consecuentemente deterioro en el valor nutritivo (Ruiz, 1996). Es necesario, un gran desarrollo en el tema de ensilaje de algas, existiendo muchos factores de importancia que no fueron analizados en este estudio, por lo que este trabajo se presenta como una pauta para futuros avances en el tema, dejando en claro la factibilidad de ensilar algas, con pérdidas mínimas tanto en masa como en la composición nutritiva.

Se recomienda un estudio minucioso en el área bioquímica, analizando el desarrollo a través del proceso, de factores tan importantes como el pH, temperatura y variación enzimática entre otros. En el área microbiológica, el trabajo debe centrarse en el análisis y reconocimiento de las bacterias y otros microorganismos que interactúan en el proceso de ensilado de algas. También, todo el proceso de nutrición, abarcando desde un reconocimiento de la evolución de los nutrientes durante el proceso, hasta bioensayos que mostrarán la aceptabilidad y digestibilidad de los productos de ensilado por parte de los abalones y otros invertebrados marinos que tienen como fuente alimenticia las macroalgas.

VI. CONCLUSIONES

1. Es factible ensilar macroalgas como el alga *Macrocystis pyrifera*, obteniendo la mejor apariencia cuando se aplica un presecado hasta 35% de materia seca.
2. Es posible alcanzar la estabilización del proceso de fermentación del ensilado de algas después de 55 días.
3. El silo de PVC probado para esta experiencia, presenta excelentes condiciones respecto de la simplicidad, facilidad de manejo, construcción y buena obtención de resultados, por lo que se recomienda su uso para propósitos experimentales.
4. Las variaciones en la composición nutritiva del alga fresca después de ser ensilada son mínimas, existiendo la posibilidad de incrementar los valores nutritivos del ensilado recolectando el alga en los meses que alcanza los picos de nutrientes.
5. Considerando las variaciones estacionales en la composición nutritiva de *Macrocystis pyrifera*, las variaciones observadas en los proximales, después del proceso de ensilado, son mínimas.
6. Se debe continuar con las investigaciones en el área del ensilado de algas, verificando la factibilidad de ensilar otras macroalgas, principalmente aquellas que no tienen importancia comercial y que existen en gran abundancia. Además los estudios, deben ser dirigidos con el propósito de aumentar el conocimiento de factores claves del ensilaje, respecto a la bioquímica y microbiología del proceso. Por último, se deben realizar

bioensayos que evalúen el área nutricional del producto y su interacción con el animal.

7. El abalón rojo *Haliotis rufescens* consumió el ensilado de alga, no encontrándose un patrón fijo que lo definiera, ni una preferencia específica por alguno de los tratamientos. De acuerdo al corto periodo de prueba en esta parte, se recomienda realizar estudios que demuestren el consumo y la aceptación del ensilado de algas por los abalones.

VII. BIBLIOGRAFIA

Alomar, D.; L. Latrille, A. Ferrando, R. Anrique, O. Balocchi Y R. Fuchslocher. 1991. Un modelo de silo experimental. *Agro Sur* 19(2): 140-142.

Alomar, D.; L. Latrille, A. Ferrando, R. Anrique, O. Balocchi, R. Fuchslocher Y A. Quezada. 1993. Efecto de adicionar heno, coseta o afrechillo de trigo a un ensilaje de pradera permanente de corte directo en la décima región. *Agro Sur* 21(1): 52-58.

Aguila, Hugo. 1997. Pastos y Empastadas. Editorial Universitaria. 117-129 pp.

Aquanoticias "Cultivo del Abalón en Chile, Fotografía de". Ed. Technopress. Año 15, N°76. 32-40 pp.

Augsburger, Alberto. 2001. Desarrollo del cultivo de *Macrocystis pyrifera* para la alimentación de abalones. Taller: Manejo, Cultivo y Comercialización de Algas Pardas en Chile: Avances y Desafíos. Universidad de los Lagos, CONICYT, FONDEF.

Avila, Marcela. 2001. Explotación y repoblamiento de algas pardas en Chile. Taller: Manejo, Cultivo y Comercialización de Algas Pardas en Chile: Avances y Desafíos. Universidad de los Lagos, CONICYT, FONDEF.

Buxade, Carlos. 1995. Zootecnia, Bases de Producción Animal. Tomo III, Alimentos y Racionamiento. Editorial Mundi-Prensa. 157-207 pp.

Candia, A.; H. Romo, K. Alveal Y V. Dellarossa. 1979. Cultivo unialgal de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh de la bahía de Concepción – Chile. *Rickia* 8: 75-83.

- Castro, M.I.; S. Carrillo, F. Perez-Gil, R. Manzano Y E. Rosales. 1991. *Macrocystis pyrifera*: Potential resource for animal feeding. Cuban J. Agric. Sci. 25: 77.
- Corazani, D. & Illanes, J. 1996. Antecedentes preliminares sobre el crecimiento de abalones juveniles *Haliotis discus hannai* Ino, 1953 y *Haliotis rufescens* Swainson, 1822, alimentados con diferentes dietas. Acuicultura en Latinoamérica. IX Congreso Latinoamericano de Acuicultura. 2° Simposio Avances y Perspectivas de la Acuicultura en Chile. Silva & Merino Eds. 188-192 pp.
- Fundación Chile. 1998. Manual técnico para la engorda del abalón rojo (*Haliotis rufescens*) en sistemas suspendidos en el mar. Proyecto FDI, CORFO 97-PD-10
- Gutiérrez, Alfonso. 2001. *Macrocystis pyrifera* para consumo humano: nuevos productos de alto valor agregado. Taller: Manejo, Cultivo y Comercialización de Algas Pardas en Chile: Avances y Desafíos. Universidad de los Lagos, CONICYT, FONDEF.
- Hahn, Kirk. 1989. Handbook of Culture of Abalone and other Marine Gastropods. CRC Press Ed. 135-153 pp.
- Hargreaves, A.; N. Butendieck Y M. Hiriart. 1986. Comparación de dos silos experimentales para investigación de ensilajes. Agricultura Técnica 46(2): 185-191 pp.
- Hauenstein, E. & González, M. 1994. "Biología de algas y plantas acuáticas", Manual de actividades prácticas. Universidad Católica de Temuco. 58-66 pp.

- Hepburn, Marta. 1965. Variación estacional de la composición química de *Macrocystis pyrifera*. Centro de Investigación de Biología Marina. Estación Puerto Deseado. Contribución Científica N° 67-68.
- Hernandez, C.; Y. Rodriguez, J. Torres, I. Sanchez, M. Vilchis, O. Garcia-De La Rosa. 1989. Evaluación de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Phaeophita, Laminariales) en baja California, México. II. Primavera 1986. Ciencias Marinas, 15(4): 117-140.
- Hiriart Le-Bert, Mauricio. 1998. Ensilados, Procesamiento y Calidad. Editorial Trillas. 98 pp.
- Lobos, Cesar. 2001. Utilización de Zeolita como aditivo alimenticio en dietas artificiales para abalón (*Haliotis spp.*). Tesis de Grado. Universidad Católica de Temuco. 52 pp.
- Lorkin, M., P. Hone, A. Fleming Y M. Vandeppeer. 1999. Economics of on feeding strategies and recommended practices. 6th Annual Abalone Aquaculture Workshop, Sydney 1999.
- Moraga, Ximena. 2001. Cultivo de algas pardas para la alimentación de abalones. Informe de práctica profesional. Universidad Católica de Temuco. 28 pp.
- Neushul, M. 1981. The domestication and cultivation of Californian macroalgae. Marine Science Institute, University of California. Xth International Seaweed Symposium. 71-96 pp.
- Ruiz, Ignacio. 1996. Praderas para Chile. Instituto de Investigación Agropecuaria INIA. Ministerio de Agricultura. 395-428 pp (734).

Santelices, Bernabé. 1989. Algas Marinas de Chile. Distribución, ecología, utilización y diversidad. Ed. Universidad Católica de Chile. 349 pp.

Sokal, R. & Rohlf, F. 1969. Biometría. Volumen 1. Ediciones H. Blume. 403 pp.

Universidad Austral De Valdivia, UACH. 1987. Conservación de Forrajes, Facultad de Ciencias Agrarias. 440 pp.

Westermeier, R. & Chávez, P. 2003. Contenidos calóricos y energéticos de *Macrocystis pyrifera* (L.). (In press).

Comunicaciones Personales

Augsburger, Alberto. Fundación Chile, Sede Puerto Montt. Teléfono: 65 255588.
E-mail: aburger@entelchile.net

Mardones, Alfonso. Escuela de Acuicultura, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile. Teléfono: 45 205511. E-mail: amardone@uct.cl

Toneatti, Marcelo. Escuela de Agronomía, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile. Teléfono: 45 205523. E-mail: mtoneatt@uct.cl

Publicación Electrónica

Sernapesca. LAB-NT7: Métodos de análisis microbiológicos para Productos Pesqueros de Exportación. [en línea]; [visitado 1 agosto 2003]; Disponible en: http://www.sernapesca.cl/paginas/regulacion_sectorial/