



Ciencia y Tecnología del Mar

ISSN: 0716-2006

conat@shoa.cl

Comité Oceanográfico Nacional

Chile

Martínez, Enrique A.; Correa, Juan A.; Faugeron, Sylvain; Mansilla, Andrés; Ávila, Marcela; Camus, Patricio A.

Levantamiento demográfico y genético del alga roja *Gigartina skottsbergii* Setchell et Gardner
(Rhodophyta, Gigartinales) a lo largo de su rango de distribución en el Pacífico Sur

Ciencia y Tecnología del Mar, vol. 28, núm. 1, 2005, pp. 63-74

Comité Oceanográfico Nacional
Valparaíso, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62428105>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**LEVANTAMIENTO DEMOGRÁFICO Y GENÉTICO DEL ALGA ROJA *Gigartina skottsbergii*
SETCHELL ET GARDNER (RHODOPHYTA, GIGARTINALES) A LO LARGO DE SU RANGO DE
DISTRIBUCIÓN EN EL PACÍFICO SUR**

DEMOGRAPHIC AND GENETIC SURVEY OF THE RED SEAWEED *Gigartina skottsbergii* SETCHELL ET
GARDNER (RHODOPHYTA, GIGARTINALES) ALONG ITS DISTRIBUTION RANGE IN THE SOUTHERN PACIFIC

ENRIQUE A. MARTÍNEZ^{1,2,*}
JUAN A. CORREA¹
SYLVAIN FAUGERON¹
ANDRÉS MANSILLA³
MARCELA ÁVILA⁴
PATRICIO A. CAMUS⁵

¹Departamento de Ecología y Center for Advanced
Studies in Ecology and Biodiversity,
Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile,
Alameda 340, Santiago, Chile.

²Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA),
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Serena,
Benavente 980, La Serena, Chile.
E-mail: emartine@userena.cl

³Departamento de Ciencias y Recursos Naturales,
Facultad de Ciencias, Universidad de Magallanes,
Punta Arenas, Chile

⁴División Investigación Acuícola,
Instituto de Fomento Pesquero,
Balmaceda 252, Puerto Montt, Chile.

⁵Universidad Católica de la Santísima Concepción,
Alonso de Ribera 2850, Casilla 297, Concepción, Chile.

*Autor para envío de correspondencia

Recepción: 10 de junio de 2004 – Versión corregida aceptada: 2 de noviembre de 2004.

RESUMEN

Se realizó estudios demográficos y genéticos entre 1999 y 2002, a través de tres esfuerzos distintos de muestreo y monitoreo sobre poblaciones naturales, explotadas y no explotadas del alga carragenófita *Gigartina skottsbergii*. La información reunida permitió establecer la presencia/ausencia de la especie en 34 sitios desde la X hasta la XII Regiones (41° S a 54° S). El patrón general emergente es el de una especie que ocupa su rango de distribución en poblaciones pequeñas (<3 ha) aisladas geográficamente. Esto ha obligado a las faenas extractivas a cambiar sus zonas de cosecha entre temporadas consecutivas y a una tendencia en los últimos 10 años de migración desde la X a la XI y XII Regiones. La fenología reproductiva indica una dominancia generalizada de la fase cistocárpica con períodos restringidos de aun mayor dominancia de frondas cistocárpicas entre los meses de noviembre y enero diferentes según las praderas. Las praderas explotadas presentaron en un ciclo anual mayor biomasa que las no explotadas para cinco situaciones comparadas en la XI Región entre los 43° y 45° S. Las densidades de frondas no superan las 25 frondas m⁻² y también fueron significativamente mayores en las praderas explotadas. Otro aspecto de la distribución espacial de la abundancia observada es una ausencia generalizada de poblaciones hacia los fiordos y senos interiores más cercanos a la vertiente andina, con

poblaciones aun más pequeñas (<0,1 ha) y aisladas geográficamente. Las poblaciones más abundantes se encuentran hacia la costa expuesta al Pacífico. La diversidad genética evaluada mediante 17 loci RAPD en individuos haploides de 7 poblaciones muestreadas entre los 41° S y 54° S indica una menor diversidad y aislamiento en dos poblaciones al límite norte de la distribución. El distanciamiento genético crece hasta los 45° S y hacia el sur incrementa la diversidad en las poblaciones, manteniéndose también una clara distinción entre poblaciones con muy pocos haplotipos compartidos.

Palabras claves: Aislamiento genético, biogeografía de Sudamérica, diversidad genética, macroalgas cosechadas.

ABSTRACT

Demographic and genetic studies were made between 1999 and 2002 through three different samplings on natural, exploited and not exploited stands of the carrageenophyte *Gigartina skottsbergii*. The gathered information allowed to determine the presence and absence of the species along 34 sites between 41° S and 54° S (Xth and XIIth political regions in Chile). The dominant pattern shows species distributed in small isolated stands (<3 ha). Thus, commercial harvests have moved through more southern zones between consecutive fishing seasons. In an annual period Cystocarpic haploid fronds dominate and they increase even more in relative abundance between November and January (summer) depending on the specific site. In five monitored stands (between 43° and 45° S) the exploited ones showed significantly higher density and biomass than the unexploited. Highest densities never increase beyond 25 fronds m⁻². A second remarkable pattern is the absence of stands or very small ones (<0.1 ha) in inner fjords and channels, closer to the Andes range. Thus, the most extended and dense populations are found in exposed sites facing the Pacific coast. Genetic diversity evaluated by 17 RAPD loci in haploid individuals of 7 stands sampled between 41° S and 54° S shows lower diversity and higher isolation in the two northernmost populations. Genetic distance among individuals increases towards the 45° S, and diversity increases towards the south with few shared haplotypes within and between localities.

Key words: Genetic isolation, genetic diversity, harvested seaweeds, South American biogeography.

INTRODUCCIÓN

Distintos esfuerzos por parte de investigadores de diversas instituciones y bajo diversas fuentes de financiamiento han realizado estudios sobre el alga roja carragenófita *Gigartina skottsbergii* en su distribución al sur de los 40° de latitud sur (Avila *et al.*, 1999, 2003, Buschmann *et al.*, 1999, 2001, Westermeier *et al.*, 1999). La importancia comercial de esta especie radica en su alto contenido de carragenanos (>70% en peso seco) (Piriz & Cerrezo 1991). Sin embargo ha habido poco esfuerzo de síntesis que recoja el conjunto de la experiencia de todos los investigadores para evaluar el estado del conocimiento biológico/pesquero sobre este recurso, más allá de las comunicaciones libres de todos quienes trabajan en esta especie y asisten a congresos anuales. En este estudio se hace una síntesis preliminar sobre algunos resultados no publicados de estudios emprendidos por tres grupos de investigadores reunidos bajo el alero de financiamientos distintos, otorgados respectivamente por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA) en su crucero CIMAR 7 Fiordos, y por proyectos FONDAP y FIP-

IFOP. El objetivo de esta síntesis es establecer 1) la cobertura de sitios que han sido prospectados al sur de los 40° S, 2) la abundancia de la especie en estos sitios (cuando se ha encontrado y cuando ha sido evaluada), 3) la extensión de las praderas registradas, 4) la dinámica de la fenología reproductiva y 5) la diversidad genética en un análisis general, no jerarquizado sino hasta el nivel de localidad, como continuación de un estudio anterior en las mismas localidades exceptuando el canal Moraleda. Tal sector fue cubierto ahora con muestreos del crucero CIMAR 7 Fiordos.

Tal análisis al reunir por primera vez grupos de datos dispersos, sienta un precedente para continuar en la suma de esfuerzos que aumenten sobretodo la cobertura geográfica de datos biológico/pesqueros. Un ejemplo de la importancia de este tipo de esfuerzos se recoje del estudio FIP-IFOP-27/28 que reveló que algas provenientes de un total de 33 localidades que desembarcaron entre septiembre 2001 y abril 2002 en la X Región (Quellón) tuvieron como lugares de cosecha a 22 localidades (66,7%) de la XI Región, localidades más sureñas pero sin sitios de desembar-

ques. De este modo las estadísticas de desembarques pueden no representar los recursos asignados originalmente a aquellos dados por los límites políticos entre las regiones. Entonces, la variabilidad del comportamiento reproductivo entre zonas puede ser importante para definir los criterios de fijación de períodos de cosecha, vedas o reglamentos que no responden necesariamente a regiones políticas sino a una interacción de factores biológicos y también de accesibilidad geográfica a los recursos. Estos deben entonces ajustarse a una mejor asignación geográfica de unidades de "stock" pesquero.

Las aproximaciones metodológicas usadas en esta síntesis, aunque diversas permiten hacer comparaciones confiables y al menos para este reporte intentamos establecer cuál es el universo de sitios sometidos a estudios similares entre los 41° S y los 54° S. En ellos se realiza un primer intento de evaluación de parámetros demográficos básicos (presencia/ausencia, abundancia, estacionalidad reproductiva) y de diversidad genética a nivel de ADN.

MÉTODOS

Sitios de estudio

Los sitios de los diversos esfuerzos de muestreo y monitoreo de poblaciones de *Gigartina skottsbergii* emprendidos entre 1999 y 2002 se encuentran distribuidos entre las localidades de Calbuco, X Región (41° 43' S, 73° 04' W) y el canal Magdalena, XII Región (54° 10' S, 70° 55'). Un total de 34 sitios se distribuyen entre las localidades mencionadas y se indican en la Fig. 1. Datos registrados sobre la ubicación geográfica, densidad de plantas o Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE), salinidad y temperatura, extensión de las praderas (donde se encuentran disponibles) y origen de los datos (según fuente de financiamiento) se indican en la Tabla I. Algunos sitios de la XII Región como aquellos al sur de la isla Vancouver se indican pues aunque no están disponibles aun los datos de algunos de ellos si se sabe que por ejemplo entre 1998-99 cerca de puerto Natales el esfuerzo de extracción estaba concentrado entre sitios vecinos al grupo Solari, islas Wilson y Renell. Pero fueron reemplazados en la temporada siguiente (1999-00) por sitios a un grado de latitud más al sur cerca de isla Cóndor, probablemente por falta de recurso. Lo mismo frente a Punta Arenas sitios cosechados en la temporada 1998-99 (Santa Ana) fueron reemplazados a la temporada 1999-00 por otros cerca del canal Magdalena, también un grado de latitud más al sur.

Muestreos y monitoreos

En los sitios cercanos a Melinka (islas Guaitecas) y puerto Aguirre se escogieron cinco localidades para ser monitoreadas en densidad, biomasa y fenología reproductiva. Estas localidades corresponden a dos praderas que son cosechadas regularmente (bahía Low e islas Bajas, Tabla I) y tres que fueron escogidas por cosecha incipiente o no cosechadas aun (puerto Barrientos más cercana a bahía Low e islas Bajas e islas Vergara y Meninea al sur, Tabla I). En ellas se muestreó mensualmente 30 cuadrantes de 1 m x 1 m mediante buceos desde septiembre 2001 hasta agosto 2002, excepto en Islas Bajas donde hubo mal tiempo en mayo 2002. Se comparó las densidades en meses consecutivos mediante Análisis de Varianza. Las mayoría de las localidades en torno al canal Moraleda fueron muestreadas mediante buceos prospectivos entre el 8 y el 20 de julio de 2001. Simultáneamente fueron muestreadas las poblaciones bahía Chilota (frente a Porvenir), puerto Yartou y bahía Inútil de la XII Región (Tabla I). En estos muestreos y en los realizados en Calbuco, Ancud y puerto Aguirre (1999) se colectó también material para hacer análisis de diversidad genética.

Estudio de diversidad genética

Los muestreos para diversidad genética se realizaron sobre frondas infériles o maduras, limpias, libre de epi o endófitos y sobre tejidos sanos. Trozos de 4 cm² de plantas se cortaron y secaron en silice gel para su posterior extracción de ADN y amplificación por RAPD-PCR. Estos fueron realizados desde plantas colectadas al azar en las praderas de Calbuco, Ancud, puerto Aguirre, canal Moraleda (todos los sitios-fuente señalados con CONA en la Tabla I, donde había algas) y de las tres localidades al sur de Porvenir (bahía Chilota, bahía Inútil y puerto Yartou, Tabla I). Una vez en Santiago en el laboratorio las muestras fueron molidas en nitrógeno líquido y congeladas hasta su extracción de ADN. Una parte del tejido molido fue utilizado para reconocer los individuos haploides de las frondas vegetativas mediante el método de Acetal-Resorcinol (Craigie & Leigh 1978). La extracción se realizó de 50 µL de tejido haploide molido siguiendo el método de Saunders (1993). La concentración de ADN medida en espectrofotómetro a 260 y 289 nm se llevó a 10 ng µL⁻¹. Las reacciones PCR fueron realizadas con los mismos partidores RAPD y condiciones señaladas en Faugeron *et al.* (2004) tanto para la co-rida de geles como para la lectura de bandas polimórficas. La lectura de 17 bandas polimórficas sobre los individuos haploides evita el efecto de

Tabla I. Abundancia de *Gigartina skottsbergii* (DE= Desviación estándar), área de praderas, salinidad y temperatura en 34 sitios de muestreo y/o monitoreo bajo tres fuentes de proyectos (periodo 1999-2002).

Table I. Abundance og *Gigartina skottsbergii* (DE= Standard deviation), stand area, salinity and temperature in 34 sampled sites under three funding sources (period 1999 and 2002).

Nº	LOCALIDAD (meses)	LATITUD	LONGITUD	ABUNDANCIA (DE)	Área (ha)	S(‰)-T(°C)	FUENTE
1	Calbuco (12)	41° 43' 00"	41° 43' 00"	7,3a	<0,5	S/D-S/D	FONDAP
2	Ancud (12)	41° 51' 00"	41° 51' 00"	26a	<0,2	S/D-S/D	FONDAP
3	Bahía low (12)	43° 47' 34"	43° 47' 34"	14,3 (4,4)b	2,50	30,3-11	FIP-IFOP
4	Puerto Barrientos (12)	43° 54' 36"	43° 54' 36"	12,3 (3,5)b	2,19	31,6-10,6	FIP-IFOP
5	Islas Bajas (11)	43° 57' 29"	74° 05' 20"	14,9 (3,7)b	0,80	31,8-10,1	FIP-IFOP
6	Pto. Ballena (1)	44° 09' 00"	73° 28' 00"	0		S/D-S/D	CONA
7	Esteros Queuleut (1)	44° 28' 00"	72° 34' 59"	0		27-S/D	CONA
8	I. Tránsito-Pto. Francés (1)	44° 37' 00"	73° 34' 59"	S/Dc	S/D	31,4-S/D	CONA
9	Pto. Cisnes Pta. Pearson (1)	44° 40' 00"	71° 48' 00"	0		30,6-S/D	CONA
10	Pto. Cisnes Pta. Cubillos (1)	44° 42' 00"	72° 43' 59"	0		30,8-S/D	CONA
11	Puerto Aguirre (1)	45° 10' 00"	73° 32' 00"	S/D	S/D	S/D-S/D	FONDAP
12	Isla Vergara (12)	45° 11' 39"	73° 32' 05"	11,5 (3,3)b	2,73	29,7-9,8	FIP-IFOP
13	Pta. Tortuga, Este Río Cuervo (1)	45° 19' 59"	73° 04' 59"	0		17 a 29-S/D	CONA
14	Isla Meninea (12)	45° 15' 50"	73° 36' 55"	8,9 (2,6)b	2,86	29,9,9	FIP-IFOP
15	I. Traiguén-Lado Norte (1)	45° 25' 00"	73° 43' 59"	20d	0,01	25,7-S/D	CONA
16	Esteros Quirralco (1)	45° 40' 11"	73° 12' 05"	0		26,7-S/D	CONA
17	Pta. Kulczewski-Esteros Elefantes (1)	46° 04' 59"	73° 37' 59"	0		25,0-S/D	CONA
18	Esteros Odger-Esteros Elefantes (1)	46° 10' 00"	73° 40' 00"	8,7 (3,8)d	0,01	23,7-S/D	CONA
19	Bahía Exploradores (1)	46° 16' 59"	73° 34' 59"	0		S/D-S/D	CONA
20	Pta. Garrao (1)	46° 19' 59"	73° 43' 00"	2,3 (0,8)d	0,01	22,7-S/D	CONA
21	Pta. Leopard (1)	46° 30' 00"	73° 49' 00"	9,5 (2,1)d	0,01	21,0-S/D	CONA
22	Isla Crosslet (1)	46° 46' 08"	75° 07' 26"	631,1 (162,3)e	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
23	Esteros San Esteban (1)	46° 58' 44"	74° 04' 56"	1669,7e	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
24	Isla Javier (1)	47° 06' 27"	74° 24' 32"	777,6 (370,5)e	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
25	Isla Vancouver (1)	51° 23' 28"	74° 13' 30"	S/Dc	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
26	Islas Grupo Solari (1)	51° 23' 34"	74° 17' 32"	S/Dc	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
27	Isla Wilson (1)	51° 36' 28"	74° 31' 58"	0	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
28	Isla Renell (1)	51° 45' 39"	74° 17' 38"	0	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
29	Los Pinos (1)	52° 57' 53"	70° 19' 32"	S/Dc	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
30	Bahía Inútil (1)	53° 10' 00"	70° 55' 00"	S/Dc	S/D	S/D-S/D	CONA
31	Bahía Chilota (1)	53° 18' 26"	70° 27' 03"	S/Dc	S/D	S/D-S/D	CONA
32	Puerto Palos (1)	53° 28' 49"	70° 13' 38"	0	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
33	Santa Ana (1)	53° 47' 38"	70° 58' 14"	S/Dc	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP
34	Canal Magdalena (1)	54° 10' 43"	70° 55' 44"	S/Dc	S/D	S/D-S/D	FIP-IFOP

a: Densidad m² (Westermeier *et al.*, 1999)

b: Muestreo n=30 cuadrantes (1m²)/mes

c: S/D sin dato pero alga presente

d: Densidad en 0,25 m²

e: CPUE k/d-buzo, n=lanchas operando

f: Además al sur de B. Inútil se muestreó Pto. Yartou

la dominancia de los marcadores RAPD. Luego con el perfil de presencia/ausencia de bandas multilocus un "Minimum Spanning Network" fue construido (Rohlf, 1973), donde cada haplotipo se conecta en una red a otros mediante su mayor o menor afinidad de bandas compartidas. Esto permite la construcción de matrices de distancias pareadas que contengan el número de diferencias entre cada par de haplotipos multilocus. Esta métrica euclíadiana se usa para construir una red de relaciones de haplotipos unos más liga-

dos a otros por una probabilidad de pasos (steps) mutacionales de modo de poder llegar de un haplotipo a los otros por una serie de pasos definidos (Excoffier *et al.*, 1992). La interpretación debe ser cautelosa ya que se asume no recombinación, siendo las mutaciones la única fuerza evolutiva (Bonnin *et al.*, 1996) al tiempo que las recombinaciones podrían ocurrir entre genotipos emparentados. Cada individuo se grafica junto a otro si posee exactamente el mismo patrón de bandeo o a cierta distancia, mayor

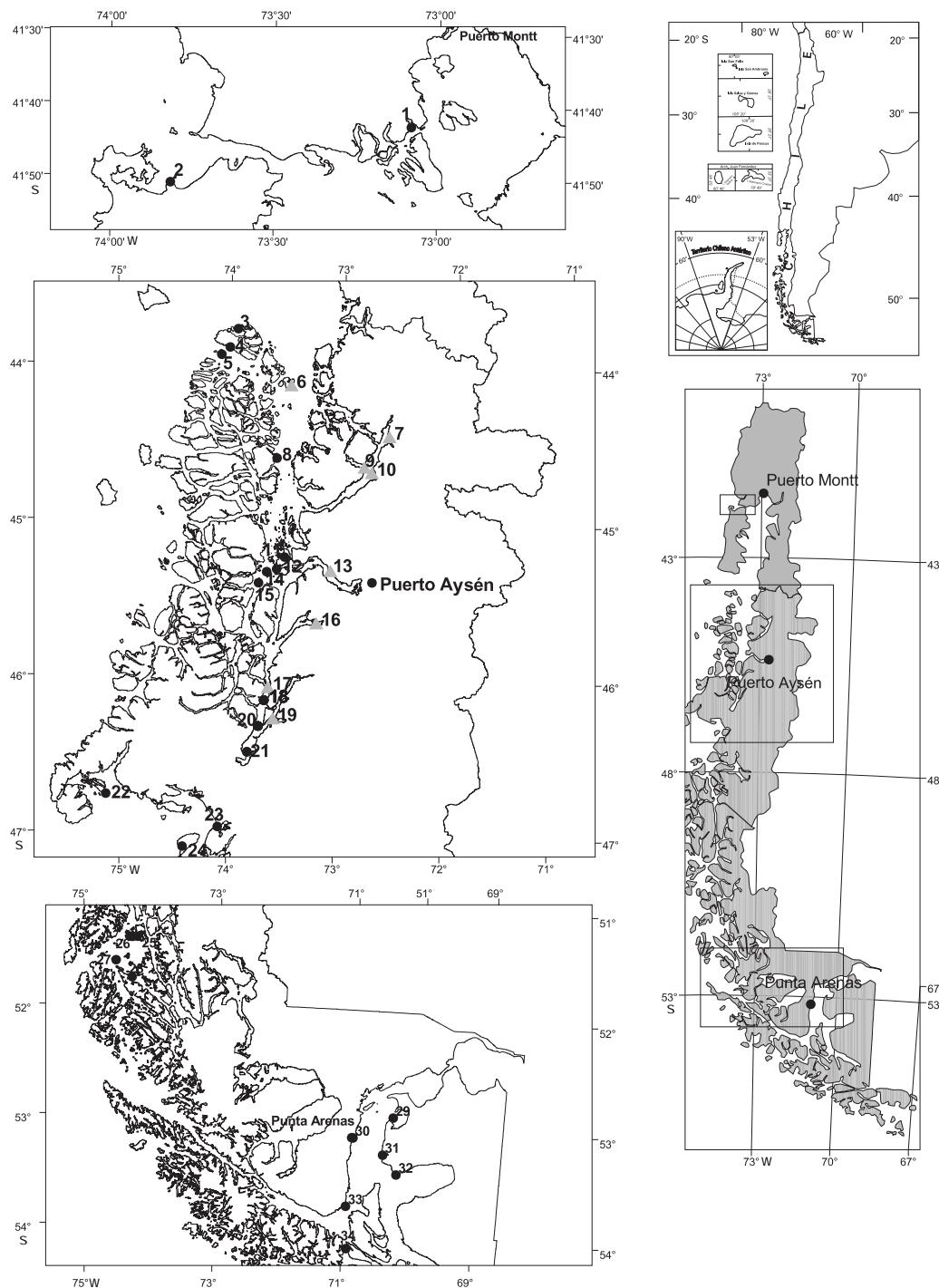


Fig. 1: Distribución de los sitios de muestreo y/o monitoreo de *Gigartina skottsbergii* indicados en la Tabla I. Los sitios indicados con triángulos grises corresponden a sitios prospectados donde no se encontró la especie.

Fig. 1: Distribution of sampled and monitored sites of *Gigartina skottsbergii*, indicated in TableI. Sites marked with triangles correspond to those where no stands found.

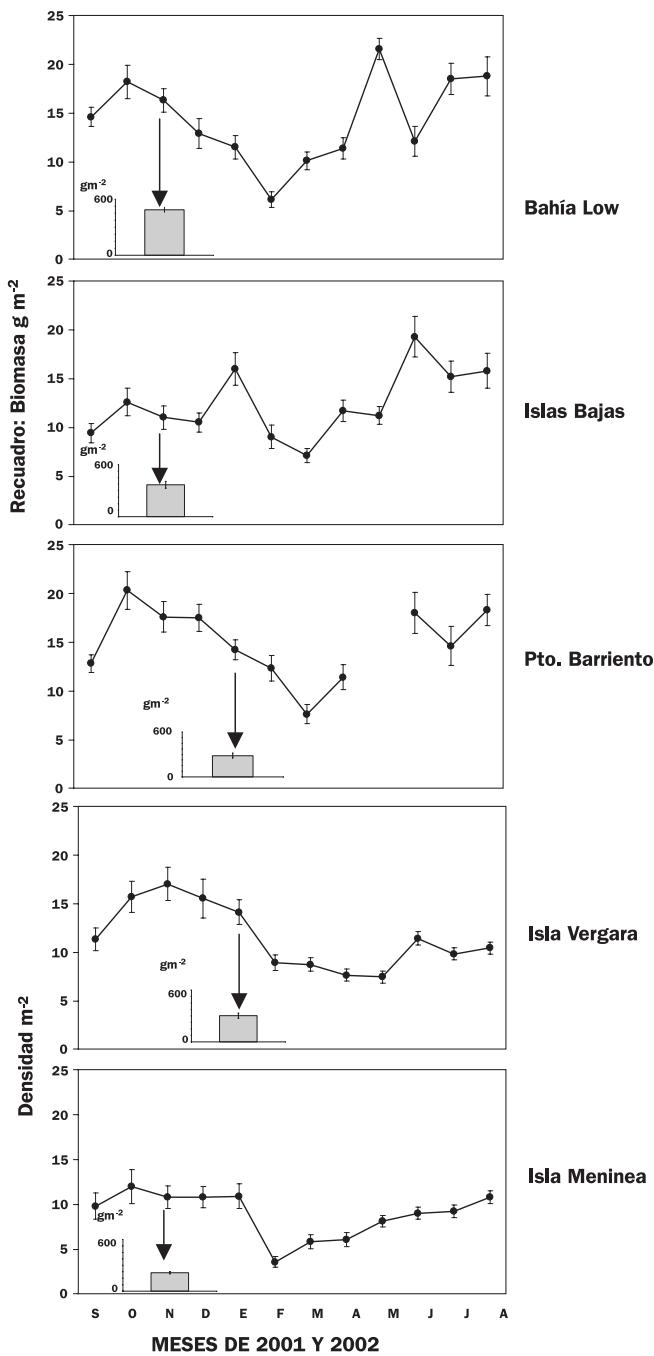


Fig. 2: Monitoreo de abundancia en *Gigartina skottsbergii* en praderas explotadas y no explotadas de la XI Región. Densidad mensual (± 1 Error estándar) y Biomasa máxima del período (barras ± 1 Desviación estándar) ambas por área de 1 m² en las localidades explotadas (bahía Low e Islas Bajas) y no explotadas (Pto. Barrientos, Islas Vergara y Meninea) monitoreadas desde septiembre de 2001 hasta agosto de 2002. Las barras se ubican en el mes donde se observó la máxima biomasa.

Fig. 2: Monthly density of *Gigartina skottsbergii* (± 1 standard error) between September 2001 and August 2002. Bars on respective months indicate maximum biomass (± 1 standard deviation). Localities correspond to exploited (Bahía Low and Islas Bajas) and not exploited (Puerto Barrientos, and Islands Vergara and Meninea) stands.

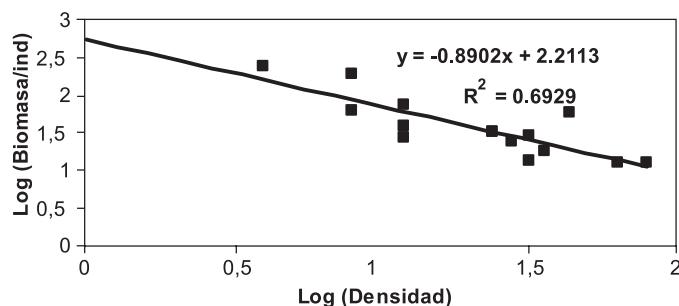


Fig. 3: Relación Biomasa-Densidad (logarítmica) en las poblaciones de *Gigartina skottsbergii* de extensión menores a 0,1 ha, muestreadas bajo el proyecto CIMAR 7 Fiordos del CONA (julio 2001).

Fig. 3: Logarithmic relationship between biomass and density in small populations (<0,1 ha), sampled during the cruise CIMAR 7 Fiordos (July 2001)

o menor según los pasos probables de separación. La figura se construye centrada en los haplotipos más comunes y llevan colores asignados a cada localidad. La cercanía de individuos de colores distintos puede indicar migración o similitud por cambios mutacionales.

RESULTADOS

Patrón espacial de abundancia

Las fuentes de información reunidas en este estudio presentaron evaluaciones de abundancia de *G. skottsbergii* diversas ya sea en términos de densidad, biomasa de Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) (Tabla I, Fig. 2) como también en unidades de biomasa areal (Fig. 2). La tendencia general es a que las densidades en evaluaciones puntuales rara vez superan las 25 frondas adultas m^{-2} , excepto en lugares de mayor reclutamiento de juveniles como isla Vergara donde en verano 2001-02 se detectó densidades cercanas a los 100 individuos $\cdot 150 cm^{-2}$. Las cinco poblaciones para las cuales se hizo un seguimiento mensual de densidad presentan variaciones intranuales significativas ($F_{3,12}=3,68$, $P=0,043$) con máximos de densidad que, excepto para islas Bajas, ocurrieron antes de que se observaran los máximos de biomasa (Fig. 2). Los máximos de densidad se observan en épocas distintas en praderas explotadas (otoño-invierno) que en praderas no explotadas (primavera-verano). También las praderas no explotadas presentaron las menores densidades promedio anuales ($F_{4,54}=5,38$, $P=0,001$) y también las menores biomassas máximas (Fig. 2). Además de que las praderas pueden presentar densidades variables es importante reconocer que ellas

pueden tener además importantes diferencias en sus dimensiones totales (Tabla I) y al menos en las proyecciones informadas en este estudio nunca superan las 3 hectáreas, tiendiendo entonces a formar poblaciones muy parchosas. Un aspecto relacionado y muy importante de destacar respecto del patrón espacial de abundancia de *G. skottsbergii* sólo es evidente al comparar los resultados en el conjunto de las tres prospecciones indicadas en la Tabla I. Tal patrón es el de la notoria ausencia de poblaciones de esta especie en los canales y senos hacia el este del canal Moraleda (Triángulos grises en la Fig. 1). Muchos de los sitios (pero no todos) presentan bajas salinidades por la influencia de aguas continentales. Sin embargo también hubo sitios con presencia de alga aun en bajas salinidades.

Es posible esperar relaciones inversas entre biomasa promedio de los individuos y su densidad poblacional, pero esto parece ser significativo ($F_{1,13}=29,328$, $P<0,001$) sólo en praderas pequeñas no explotadas como aquellas muestreadas durante el crucero CIMAR 7 Fiordos a lo largo del canal Moraleda (Fig. 3).

Proporción de fases reproductivas

En las cinco localidades monitoreadas durante un año la proporción de frondas vegetativas fue siempre mayor al 50% de la biomasa en los meses de mayor biomasa (junio a diciembre). Tal proporción disminuye en los meses posteriores a diciembre, hasta mayo 2002, período de menores biomassas mensuales pero mayores proporciones de frondas reproductivas. Aunque existen datos puntuales de proporción de fases reproductivas para varias de las otras localidades muestreadas sólo se presentan en este estudio aquellas registradas para 5

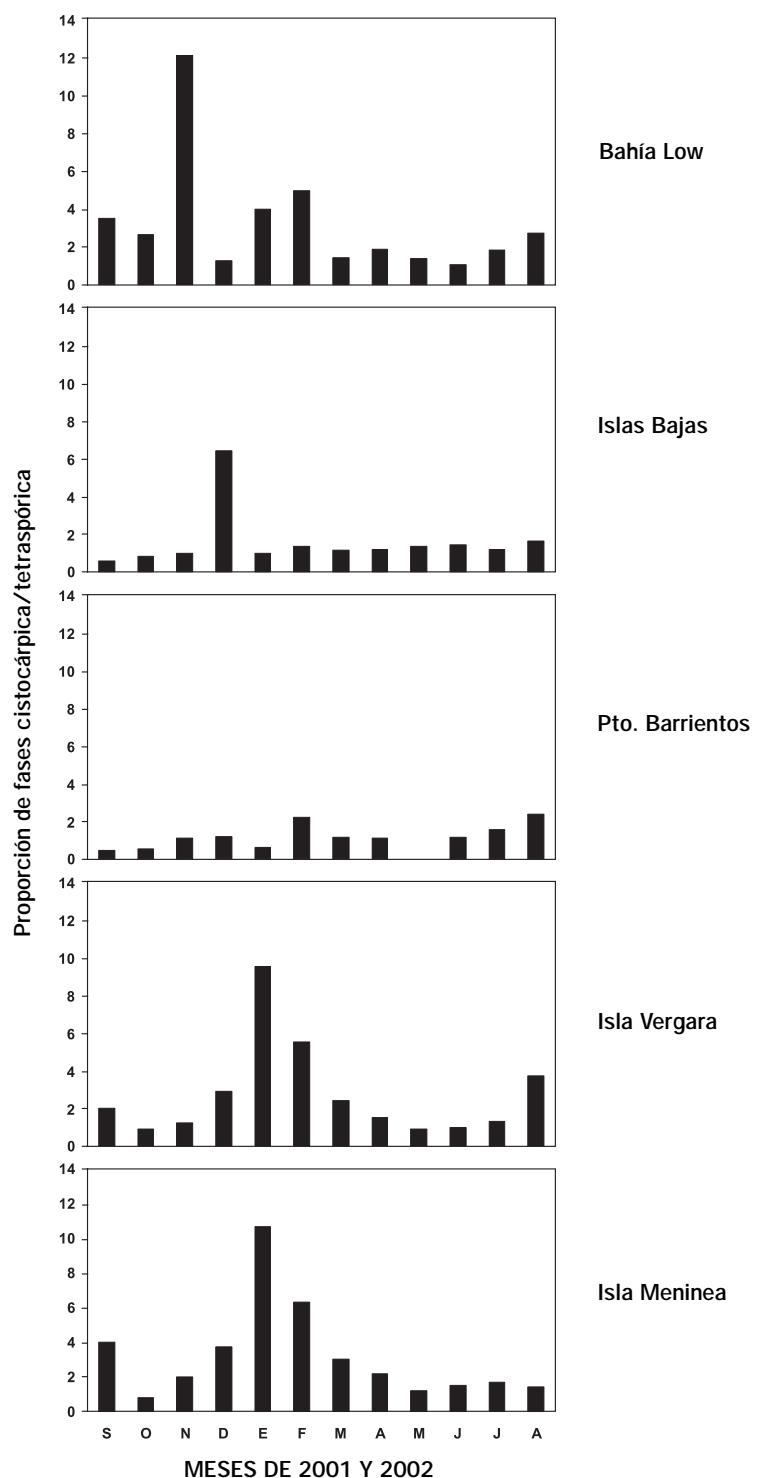


Fig. 4: Proporción de fases cistocárpicas/tetrasporicas de *Gigartina skottsbergii* en las mismas praderas y periodo de la Fig. 2.
 Fig. 4: Ratio of Cystocarpic to tetrasporic fronds for *Gigartina skottsbergii* in the same period and stands of Fig. 2.

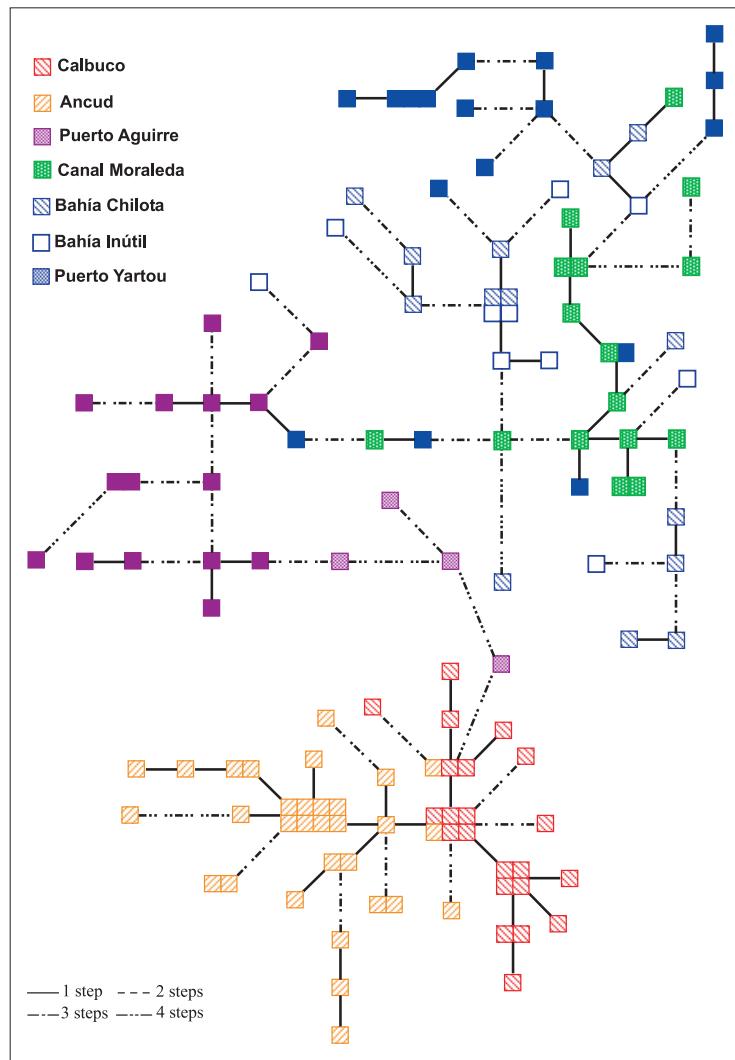


Fig. 5: Red de similitudes genéticas ("Minimum Spanning Network") para las 7 localidades de donde provienen los haplotipos de *Gigartina skottsbergii*.

Fig. 5: Minimum Spanning Network of genetic similarities in haplotypes of *Gigartina skottsbergii* from 7 localities.

praderas de la XI Región, las que fueron monitoreadas durante el período 2001-2002 (Fig. 4). Estos datos muestran que en general existe una dominancia de la fase haploide cistocárpica (valores mayores a 1,0 en todos los casos) y que existe una gran variabilidad en la proporción de frondas reproductivas con máximos de plantas cistocárpicas bien acotados a ciertos meses del año y que difieren a su vez entre las distintas praderas. En las praderas explotadas el valor máximo de proporción C/T se presentó en un período más corto que en las praderas no explotadas del sur y en éstas el período de mayor proporción de plantas cistocárpicas fue más tardío, hacia el verano (ene-

ro-febrero). La gran variabilidad intranual en la proporción de fases sugiere que los muestreos puntuales restringidos a sólo una época del año pueden no representar la enorme variabilidad fenológica de esta especie.

Diversidad genética

La diversidad genética en varias de las localidades de estudio ya ha sido publicada en un estudio anterior (Faugeron *et al.*, 2004). Sin embargo los individuos agregados en este estudio gracias al Crucero CIMAR 7 Fiordos en el canal Moraleda y senos adyacentes permitieron mos-

trar el tipo de relaciones de parentesco entre un mayor número de individuos y sus poblaciones (Fig. 5). El Análisis de "Minimum Spanning Network" muestra que las poblaciones de Calbuco y Ancud, límite norte en la distribución de la especie, presentan la menor diversidad con varios haplotipos compartidos y gran distancia genética entre ellas a pesar de la corta distancia geográfica entre las mismas (54 km). El resto de las poblaciones muestran cierta similitud al interior de ellas y gran diversidad de haplotipos (pocos haplotipos compartidos). Se observa además un seguimiento del patrón de aislamiento por la distancia con mayores diferencias acumuladas (steps) en la medida que los sitios se alejan de las poblaciones del norte. De este modo, hacia el sur, la población de puerto Aguirre es la que le sigue en la tendencia, bien separada genéticamente del resto y luego el grupo del canal Moraleda que se mezcla más homogéneamente con las tres poblaciones del entorno de bahía Inútil al sur de Porvenir. Estas últimas mezclan algunos individuos pero manteniendo igualmente alta diversidad entre y dentro de localidades, con mayor homogeneidad entre individuos de un mismo grupo. La separación genética de poblaciones de distintas localidades permite sospechar que muchas de las diferencias descritas entre poblaciones a nivel de morfología (por ejemplo diferencias en colores, texturas, bordes y superficies pilosas) y de fenología pueden no sólo deberse a variaciones locales de condiciones ambientales sino a diferencias más fuertes mantenidas por falta de flujo genético efectivo entre las poblaciones.

DISCUSIÓN

La distribución de *Gigartina skottsbergii* se conocía muy someramente e incluso las referencias que relatan hallazgos en Valparaíso podrían corresponder a malas descripciones (Ramírez & Santelices, 1991). A pesar que se le había descrito desde Valdivia al sur (Westermeier, 1981) este grupo de investigadores sólo la ha encontrado desde Chiloé hacia el sur. Los tres proyectos referidos en este estudio fueron financiados en épocas similares (1999-2002) que aunque siendo ejecutados por distintos grupos de investigación otorgan en su conjunto un buen primer intento de síntesis actualizada de información sobre la distribución de esta especie. El levantamiento demográfico permite mostrar que las praderas de esta especie se encuentran repartidas en forma parchosa o discontinua, con tamaños pequeños de unas pocas hectáreas cada una (a veces de sólo fracciones de hectárea de extensión) en una gran extensión de fiordos y canales al sur de los 41° S.

En general los canales interiores (hacia la vertiente andina) presentan las menores poblaciones, de menor biomasa total. Las densidades de individuos por área no superan los 20-25 individuos por metro cuadrado y las biomassas no superan el kilogramo húmedo en las mismas áreas. Sin embargo las praderas bajo explotación (bahía Low e islas Bajas) mostraron mayores densidades y biomassas que las praderas no explotadas (puerto Barrientos, isla Vergara e isla Meninea). El estudio prospectivo sólo duró un ciclo anual y ahora están las bases técnicas para hacer un estudio multianual.

La fenología reproductiva es muy variable entre sitios y sólo debiera considerarse aquellos estudios comparativos entre praderas cuando se haya realizado muestreos durante ciclos anuales o multianuales simultáneos en cada una.

La diversidad genética de haplotipos de siete localidades muestra un claro patrón de correspondencia con los sitios alejados por distintas distancias geográficas. Sin embargo, las localidades de Calbuco y Ancud son las más distintas con poca mezcla de individuos, probablemente reflejando efectos de borde que también podría tener un correlato con la historia geológica-glacial de esta parte de Chile. En efecto hay antecedentes de hielos que cubrieron Calbuco pero no Ancud durante el último máximo glacial (Villagrán 1991) y que gran parte del territorio que hoy muestra un gran despoblamiento de *G. skottsbergii* estuvo antes cubierto de hielo, hasta el borde Pacífico expuesto. Las poblaciones más densas de hoy, es decir las más expuestas al Pacífico, pueden haber sido herederas de las remanentes que no fueron cubiertas por los hielos glaciales. Por ejemplo, según datos del FIP-IFOP sólo la isla Guafo (isla muy expuesta al Pacífico) aportó el 45% de la extracción de algas desembarcadas en Quellón en el período septiembre 2001-abril 2002. Otras poblaciones de alto aporte a los desembarques se encuentran precisamente en localidades más al sur siguiendo el borde expuesto al Pacífico de los archipiélagos al sur de las Guaitecas.

CONCLUSIONES

1. Las prospecciones hacia los canales expuestos al Pacífico deberán otorgar un mapa más detallado de los sitios de mejor potencial extractivo de *G. skottsbergii* al sur de los 43° S.
2. Hace falta estudios de más largo plazo que den cuenta de la variabilidad multianual de praderas bajo explotación, tanto en su va-

riación de biomasa como en fenología reproductiva.

3. Es necesario continuar con esfuerzos que sumen la interacción entre científicos de distintas instituciones, que contribuyen a veces con fuentes distintas de financiamiento, para que en conjunto con los que directamente aprovechan los recursos se obtenga información de la más alta calidad y durante el mayor período posible de monitoreo pos-prospección. Especialmente en Chile donde las distribuciones geográficas de recursos no legislados como las algas marinas son extensas y en áreas de muestreos de muy alto costo por el difícil acceso.
4. Es necesario continuar con estudios de reclutamiento (realizados por IFOP pero no informados en esta síntesis) para evaluar la capacidad efectiva de autosustentación de praderas en el largo plazo pues el flujo génico de praderas vecinas puede ser muy restringido a juzgar de los resultados que señalan alta diversidad genética y poca mezcla de haplotipos entre localidades.
5. Hace falta en este sentido buscar marcadores genéticos que sean co-dominantes y que permitan entonces establecer más claramente el nivel de endogamia y aislamiento genético de las poblaciones y evaluar bajo esta óptica el efecto de explotación sostenida de los recursos.
6. Es necesario continuar con la misma profundidad de lo realizado en la XI Región hacia la XII Región.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece especialmente al equipo de investigadores del IFOP por permitir acceso a un conjunto grande de datos aún no publicados, una fracción muy pequeña de los cuales ha sido incluida en esta síntesis. Las fuentes de financiamiento participantes en distintas instancias del período 1999-2002 y con posterioridad al mismo, que permitieron continuar con análisis genéticos y realizar la síntesis de parte de la información dispersa fueron: Fondo de Investigación Pesquera (FIP-27/28), FONDAP de Biología Marina y Oceanografía, Proyecto CIMAR 7 Fiordos del Comité Oceanográfico Nacional (CONA), FONDAP 1501-0001 y Proyecto 0-44-MINEDUC. La ayuda en terreno de David Patiño, Juan Morales y en laboratorio de Leyla Cárdenas y Andrea Silva es especialmente agradecida. (Proyecto CONA-C7F 01-07).

REFERENCIAS

- AVILA, M., CANDIA, A., NÚÑEZ, M. & ROMO, H. 1999. Reproductive biology of *G. skottsbergii* (Gigartinaceae, Rhodophyta) from Chile. *Hydrobiologia* 398/299: 149-57.
- AVILA, M., CANDIA, A., ROMO, H., PAVEZ, H. & TORRIJOS, C. 2003. Exploitation and cultivation of *Gigartina skottsbergii* in southern Chile. In A. R. O. Chapman, R. J. Anderson, V. J. Vreeland & I. R. Davison [Eds] *Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium*. Oxford University Press, New York. pp. 137-144.
- BONNIN, I., HUGUET, T., GHERARDI, M., PROSPERI, J.-M. & OLIVIERI, I. 1996. High level of polymorphism and spatial structure in a selfing plant species, *Medicago truncatula* (Leguminosae), shown by RAPD markers. *Amer. J. Bot.* 93: 843-855.
- BUSCHMANN, A. H., CORREA, J. A. & WESTERMEIER, R. 1999. Recent advances in the understanding of the biological basis for *Gigartina skottsbergii* (Rhodophyta) cultivation in Chile. *Hydrobiologia* 398/399: 427-34.
- BUSCHMANN, A. H., CORREA, J. A., WESTERMEIER, R., HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M. C. & NORAMBUENA, R. 2001. Red algal farming in Chile: a review. *Aquaculture* 194: 203-20.
- CRAIGIE, J. S. & LEIGH, C. 1978. Carrageenans and agars. In J. A. Hellebust & J. S. Cragie [Eds.] *Handbook of phycological methods: physiological and biochemical methods*. Cambridge University Press, London. pp 109-31.
- EXCOFFIER, L., P. E. SMOUSE, J. M. QUATTRO. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: applications to human mitochondrial DNA restriction data. *Gentics*, Austin, Tex 131: 479-491.
- FAUGERON, S., E. A. MARTÍNEZ, J. A. CORREA, L. CÁRDENAS, C. DESTOMBE & M. VALERO (2004) Reduced genetic diversity and increased population differentiation in peripheral and over-harvested populations of *Gigartina skottsbergii* (Rhodophyta, Gigartinales) in southern Chile. *J. Phycology* 40: 454-462.
- PIRIZ, M.L. & A.S. CEREZO. 1991. Seasonal variation of carrageenans in tetrasporic, cystocarpic and "sterile" stages of *Gigartina skottsbergii* S. et G. (Rhodophyta, Gigartinales). *Hydrobiologia* 226: 65-69.

- RAMÍREZ, M. E. & SANTELICES, B. 1991. Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa temperada del Pacífico de Sudamérica. Monografías Biológicas 5. (Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile). 437 pp.
- ROHLF. 1973. Algorithm 76. Hierarchical clustering using the minimum spanning tree. Computer J., 16: 93.
- SAUNDERS, G. W. 1993. Gel purification of red alga genomic DNA: an inexpensive and rapid method for the isolation of polymerase chain reaction-friendly DNA. J. Phycol. 29: 251-4.
- VILLAGRÁN, V. 1991. Historia de los bosques del sur de Chile durante el Tardiglacial y Postglacial. Revista Chilena de Historia Natural 64: 447-460.
- WESTERMEIER, R. 1981. The marine seaweed of Chile tenth Region (Valdivia, Osorno, Llanquihue and Chiloé). Proc. Int. Seaweed Symposium (T: Levring, ed.) 10: 215-220.
- WESTERMEIER, R., AGUILAR, A., SIGEL, J. QUINTANILLA, J. & J. MORALES. 1999. Biological bases or the management of *Gigartina skottsbergii* (Gigartinales, Rhodophyta) in southern Chile. Hydrobiología 398/399: 137-147.