

COLONIZACION DE ARRECIFES ARTIFICIALES EN BAHIA COLIUMO, CHILE¹

COLONIZATION OF ARTIFICIAL REEFS IN BAHIA COLIUMO, CHILE

Alfonso Pizarro, Krisler Alveal y Héctor Romo

RESUMEN

Experiencias de construcción de arrecifes artificiales, a pequeña escala, iniciadas durante 1981, en Bahía Coliumo, han permitido comprobar: a) un efecto moderado, pero significativo, de incremento de la abundancia de invertebrados y algas bentónicas al instalar las estructuras; b) una relación directa entre la abundancia de estos organismos y la densidad de las estructuras; c) la selección de microhábitat y refugios por las especies colonizadoras; d) diferencias batimétricas de las especies colonizadoras y sus abundancias y de tasa de colonización de los arrecifes. Sin embargo, a diferencia con lo observado en arrecifes instalados en otras partes del mundo, los arrecifes de Bahía Coliumo, no han sido colonizados por peces. Esta respuesta es atribuible a una notable pobreza de ictiofauna en la bahía.

Otra característica del área de estudio, claramente desfavorable para esta actividad, fue la existencia de desechos de explotación de madera (aserrín), en amplios sectores del fondo. No obstante la existencia aún de fondos poco o no contaminados, en áreas relativamente extensas del margen costero de la bahía, justifica esfuerzos para aumentar la productividad del área, mediante la generación de hábitat más heterogéneos.

Palabras claves: Macrobentos, módulos, embancamiento, microhábitat, batimetría.

ABSTRACT

The assessment of the colonization process in small artificial reefs placed on the soft, shallow bottoms of Bahía Coliumo since 1981, has shown: a) a moderate but significant increase of the abundance of macroepibenthic organisms on the reefs relative to adjacent level bottom areas; b) the existence of a direct relationship between the number of modular structures per unit area of bottom and the abundance of these organisms; c) microhabitat selection by colonizing species, and bathymetric differences in the colonizing species and their abundance and in the rate of reef colonization. However, and in contrast with reefs built in other parts of world, no fish attraction was observed, a result which can be simply attributed to a notorious scarcity of ichthyofauna in the study area. Another clearly unfavourable characteristic of this area for habitat enhancement efforts is determined by the discharge and accumulation of solid wastes from a nearby sawmill. These efforts seem however justified, as extensive areas of the bottom along the margins of the bay still remain relatively uncontaminated.

Key words: Macrobenthos, modules, microhabitats, bathymetrics.

INTRODUCCION

La construcción de arrecifes artificiales representa un intento de imitar hábitat heterogéneos, característicamente productivos, en áreas comparativamente poco productivas (i.e., fondos monótonos someros), con el fin de incrementar en éstas la disponibilidad de peces invertebrados y algas bentónicas.

Durante las últimas décadas y a nivel mundial, esta actividad ha recibido un impulso

extraordinario, realizándose experiencias, generalmente exitosas, a muy diversa escala y costos, con una gran variedad de materiales de construcción (ver la revisión de Bohnsack & Sutherland, 1985). El empleo indiscriminado de materiales de desecho en la construcción de arrecifes generó, con frecuencia, una variedad de problemas, como la liberación de sustancias tóxicas al ambiente, inestabilidad de los arrecifes, cuyos materiales ocasionalmente vararon en las playas, experi-

Departamento de Oceanología Universidad de Concepción, Casilla 2407 Apartado 10. Concepción.

¹Proyecto N° 20.37.07 D.I. Universidad de Concepción.

mentando rápida desaparición, debido a corrosión o enterramiento en el sustrato blando.

Estos problemas impulsaron la construcción de arrecifes con unidades modulares, especialmente diseñadas, utilizando concreto, acero, fibra de vidrio y plásticos. El empleo de estos materiales y de diseños más sofisticados incrementó considerablemente el costo de las estructuras (Brock, 1985).

El esfuerzo más significativo de investigación y desarrollo de una tecnología de arrecifes artificiales, se ha realizado en Japón, donde esta actividad ha recibido un subsidio estatal promedio de US\$ 100 millones/año, desde 1976 (Nakamura, 1985).

No obstante el monto y éxito de estos esfuerzos, en distintos lugares del mundo, persisten numerosas interrogantes y abundante especulación respecto al diseño y real efecto o funcionamiento de estos hábitat artificiales.

En nuestro país, sólo ha sido documentada una experiencia de este tipo (Pizarro, 1985), que consistió en la evaluación de la colonización inicial (6 meses) de un arrecife artificial de pequeñas dimensiones (100 m²), instalado en Bahía Coliumo (VIII Región). Se comprobó en ese estudio que la instalación de habitáculos artificiales en baja profundidad determinaba, en el corto plazo, la concentración de las especies más abundantes en áreas adyacentes.

Como continuidad de esas investigaciones, en este estudio se registró la colonización, a mediano plazo (11 a 14 meses), de 2 nuevos arrecifes instalados a mayor profundidad en la bahía. Incorporando a estas nue-

vas experiencias los resultados y el seguimiento del estudio anterior, se intentó detectar diferencias en la colonización de arrecifes, ubicados en diferentes sectores, con el fin de determinar los lugares más favorables para su instalación en la bahía. Objetivos adicionales de las nuevas instalaciones fueron: la detección de procesos de selección de hábitat por las especies colonizadoras, y de relaciones entre la abundancia de estos organismos y el número de estructura por unidad de área.

MATERIALES Y METODOS

Cada arrecife consistió en la agregación de unidades modulares, construidas con tres neumáticos desechados de automóvil, unidos mediante una barra de fierro y lastrados con concreto (Pizarro, 1985). En la Tabla 1 se describen los arrecifes y las áreas de su instalación.

Adyacente a cada uno de ellos se delimitó un sector de fondo, de dimensiones similares al área ocupada por el experimento, para utilizarlo como referencia a la colonización de los arrecifes. En cada arrecife y área de referencia se instaló dos cuerdas paralelas (transectas permanentes) de 10 m de longitud, que definieron pasillos de 20 m², a cada lado. Durante las evaluaciones, se realizaron recuentos totales de macrofauna en estos pasillos. En las áreas arrecifales, los recuentos incluyeron aquellos organismos ubicados tanto sobre el fondo, como sobre los módulos y dentro de éstos. Con respecto a los peces se registró, además, los ejemplares que se cruzaban frente al buzo durante la evaluación.

Tabla 1
Caracterización general de los arrecifes y áreas de instalación en Bahía Coliumo

Arrecife	Ubicación	Distancia aprox. desde costa	Profundidad de instalac.	Tipo de fondo	Area total cubierta	Número inicial de módulos	Fecha de instalac.	Tiempo de permanencia (edad)
(*)1	36°32'25"S 72°56'11"W	200 m	5 - 6 m	Arena	100 m ²	25	Nov. '81	50 meses
2	36°32'36"S 72°56'09"W	300 m	7 - 8 m	Limo-arcilla	80 m ²	43	Feb. '85	11 meses
3	36°32'24"S 72°56'19"W	450 m	10 m	Limo-arcilla	150 m ²	25	Nov. '84	14 meses

(*) Pizarro 1985.

Debido al empleo de una mayor cantidad de módulos en el arrecife 2 (Tabla 1), su distribución en el fondo fue más irregular que en los otros arrecifes, quedando unidades aisladas del resto y, también, agrupaciones de 2 ó 3 módulos. Esto permitió evaluar el efecto de la densidad de estructuras sobre la abundancia de macroepifauna bentónica. Los recuentos se efectuaron en áreas de 4 m², que contenían 1, 2 ó 3 módulos, respectivamente.

Con el fin de detectar posibles diferencias en la distribución de la macrofauna móvil presente en cada módulo, se contabilizó estos organismos en forma estratificada, en superficies o microhábitat expuestos (externos), semiexpuestos y protegidos (internos). Para los recuentos se empleó una cuadrícula de 20 × 40 cm.

La colonización por organismos sésiles, fue evaluada en dos módulos retirados de cada arrecife, al término del estudio. Se obtuvo el número y la cobertura o biomasa de la epifauna y algas fijadas en el interior y exterior de los módulos, en superficies de 100 cm², elegidas al azar.

Con el propósito de caracterizar los tipos de fondo en las áreas generales de instalación de los arrecifes, se realizó un muestreo simultáneo del bentos, mediante una draga Smith-McIntyre de 0,1 m². En estas muestras se identificó y cuantificó la macrofauna y se determinó la composición granulométrica

del sedimento (según Folk, 1974) y su contenido en materia orgánica (según Crisp, 1971). Debido a que en la bahía hay descarga y acumulación de aserrín, por la actividad de empresas madereras (Stuardo *et al.*, 1983), se cuantificó la presencia de este contaminante en las muestras de dragas.

Los datos presentados en las Figuras y Tablas, corresponden a valores promedio y errores estándar. Todos los valores de biomasa presentados, están referidos a peso fresco. Para el análisis estadístico de los datos se aplicó, en todos los casos, una prueba simple de análisis de varianza.

RESULTADOS

Caracterización del bentos en las áreas arrecifales

En la Tabla 2 se indica la identidad y abundancia de los componentes de la macrofauna bentónica, capturados con draga en las inmediaciones de las áreas arrecifales.

A todas las profundidades, las especies más conspicuamente representadas fueron: el caracol *Nassarius gayi* y el poliqueto *Diopatra chilensis*. No obstante esta similitud entre áreas, tanto el número de especies como la abundancia de organismos, fueron mayores en las muestras obtenidas a menor profundidad (áreas 1 y 2). Sólo se registró la presencia

Tabla 2
Caracterización macrofaunística de las áreas de instalación de arrecifes.
Muestreo efectuado con una draga Smith-McIntyre en julio de 1985.
Los valores corresponden a promedio de individuos/0,1 m² ± 1 error estándar

	Area arrecife 1	Area arrecife 2	Area arrecife 3
a) Anthozoa			
<i>Antholoba achates</i>	—	1,0 ± 0,0	0,5 ± 0,5
b) Polychaeta			
<i>Diopatra chilensis</i>	9,0 ± 4,0	14,0 ± 3,0	4,5 ± 0,5
c) Mollusca			
<i>Nassarius gayi</i>	49,5 ± 17,5	47,0 ± 10,0	36,0 ± 14,0
<i>Nassarius dentifer</i>	—	1,0 ± 1,0	—
<i>Xantochorus cassidiformis</i>	0,5 ± 0,5	—	—
<i>Tagelus dombeii</i>	12,5 ± 0,5	3,0 ± 1,0	—
Bivalvos no identificados	1,5 ± 0,5	6,0 ± 0,0	—
d) Crustacea			
Braquiuros no identificados	0,5 ± 0,5	11,5 ± 7,5	1,0 ± 1,0
<i>Pagurus gaudichaudi</i>	0,5 ± 0,5	0,5 ± 0,5	1,0 ± 1,0

de bivalvos en los niveles superiores y se observó, además, la existencia de un marcado gradiente batimétrico en la abundancia de *Tagelus dombeii*. Esta especie presentó ejemplares grandes y pequeños en el área 1, sólo ejemplares pequeños en el área 2, y no fue registrada en el área 3. Respecto de otras diferencias evidentes entre áreas, sólo a profundidad media (área 2) se registró presencia importante de braquiuros en las muestras de dragas.

La Tabla 3 permite comparar los tipos de substratos blandos en las áreas de muestreo, sobre la base de su granulometría, contenido de materia orgánica y abundancia de contaminantes sólidos (aserrín). El área 1 presentó un sedimento de arena media y fina, no contaminado con aserrín. Las áreas 2 y 3 presentaron, en cambio, sedimentos finos de limo-arcilla, con mayor contenido de materia orgánica e importante contaminación con aserrín (especialmente el área más profunda).

Tabla 3
Caracterización del sedimento en áreas de instalación de arrecifes¹

Tipo de sedimento	Granulometría μm^1	% de la muestra		
		Area arrecife 1	Area arrecife 2	Area arrecife 3
Arena gruesa	500	3,9	—	—
Arena media	250	55,5	—	6,0
Arena fina	125	31,2	3,2	4,9
Arena muy fina	63	8,1	2,6	1,3
Limo-arcilla	63	1,3	94,2	87,8
Materia orgánica ² %		0,7	3,0	6,4
Contaminantes (aserrín) %		—	13,4	21,2

¹ Muestreo con draga Smith-McIntyre. Julio 1985.

² Muestras analizadas previa separación de aserrín.

Comportamiento mecánico de las estructuras

Los módulos del arrecife 1 se enterraron y desenterraron, alternativamente, durante los 5 meses iniciales (Fig. 1). En este período se observó el desplazamiento de las unidades dentro del área original de instalación y, además, la formación de conos de abrasión bajo los módulos, debido a su rotación. Dos años después de la instalación (noviembre, 1983), se comprobó la total dispersión de las unidades hasta 100 m del sitio original y solamente 2 módulos y neumáticos sueltos embancados. Transcurridos 2 años desde este último control, la situación no había cambiado.

En los arrecifes 2 y 3 no hubo dispersión ni destrucción de los módulos. Tampoco se observó en estas áreas la formación de conos de abrasión, ni desplazamientos evidentes del substrato blando. Al momento del control

final (enero, 1986), los módulos estaban firmemente afianzados al substrato (Fig. 1).

Esta diferencia en la permanencia de los arrecifes refleja el mayor efecto del oleaje y corrientes en el área más somera y próxima a la playa.

Riqueza de especies en los arrecifes

La Tabla 4 presenta un listado de especies o taxa registrados, al menos en una ocasión, durante el estudio en los distintos arrecifes. Los registros faunísticos en el arrecife 1, corresponden al período inicial de 5 meses de observaciones.

Estos antecedentes evidencian una disminución del número de especies colonizadoras, de casi todos los grupos taxonómicos, al aumentar la profundidad y distancia de la costa. La excepción la constituyen las ma-

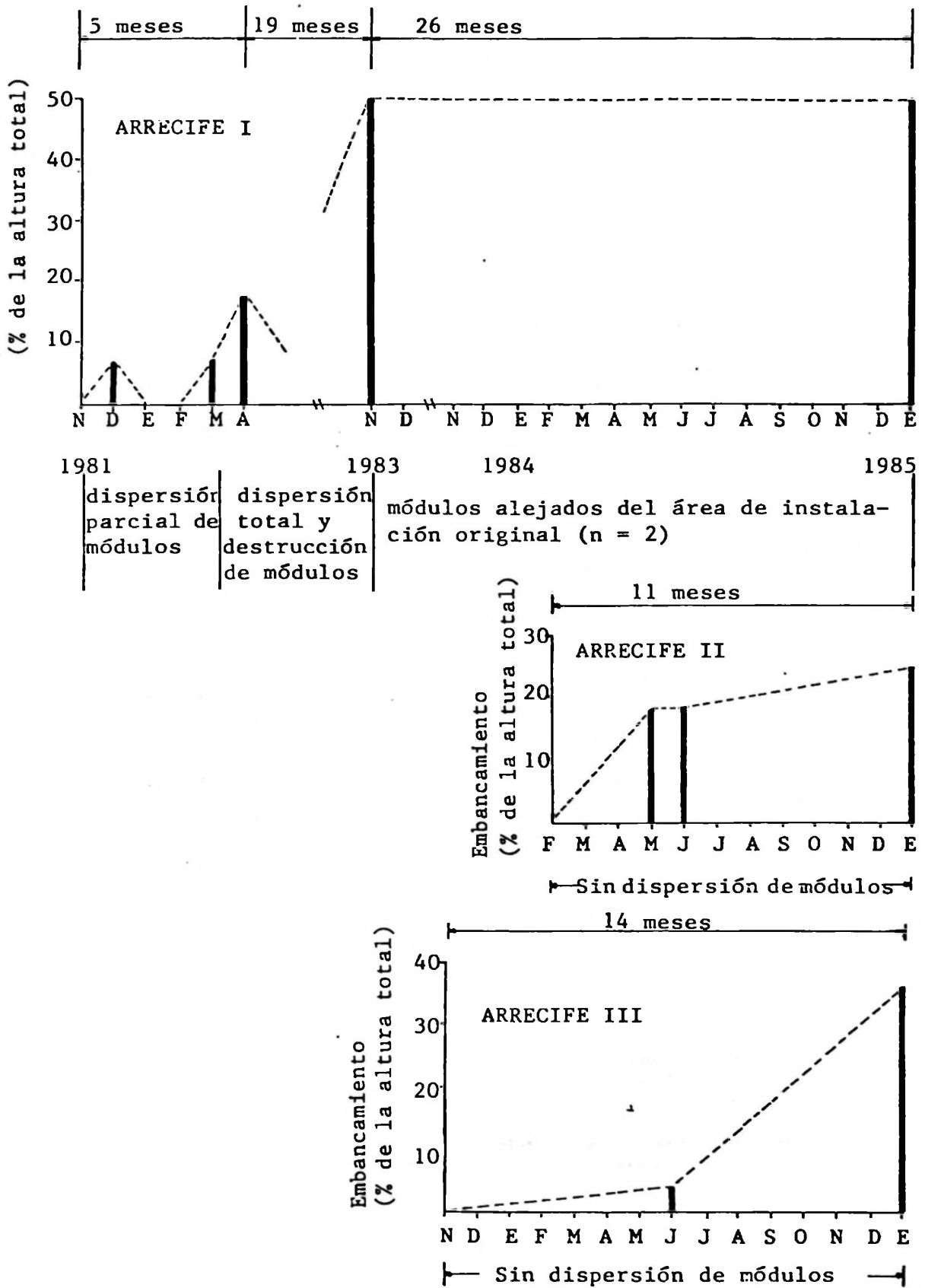


Figura 1. Cronograma de embancamiento de módulos instalados en los arrecifes 1, 2, y 3. Se señala en la base de cada gráfico la situación de dispersión y/o destrucción de los módulos.

Tabla 4
Macroorganismos registrados en los arrecifes

	ARRECIFE N°		
	1	2	3
A) ALGAS¹			
<i>Amphipleura rutilans</i> (Trentepohl) Cleve	x	x	—
<i>Enteromorpha</i> sp.	x	x	—
<i>Ulva neonatoidea</i> Bory	x	x	—
<i>Cladophora</i> sp.	x	—	—
<i>Bryopsis</i> sp.	—	x	—
<i>Gigartina chamissoi</i> (C. Ag.) J. Ag.	x	x	—
<i>Dendrymenia skottsbergii</i> (Daws.) Kylin	—	x	—
<i>Rhodomenia</i> sp.	x	x	x
<i>Ceramium rubrum</i> (Huds.) C. Ag.	x	x	—
<i>Antithamnion cruciatum</i> (C. Ag.) Nageli	x	x	x
<i>Platythamnion</i> sp.	—	—	x
<i>Phycodrys</i> sp.	—	x	x
N° de especies	8	10	4
¹ Ejemplares fijados a la superficie de los módulos			
B) INVERTEBRADOS			
Hydrozoa no identificado	x	—	—
<i>Antholoba achatas</i> Coutony	x	x	x
<i>Discinisca laevis</i> Sowerby	x	x	x
<i>Umbonula alvareziana</i> D'Orbigny	x	x	x
<i>Electra hastingsae</i> Marcus	x	x	x
<i>Tagelus domebii</i> Lamarck	x	x	—
<i>Nassarius gayi</i> Kiener	x	x	x
<i>Nassarius dentifer</i> Powys	x	x	x
<i>Rapana (Ch) giganteus</i> Lesson	x	—	—
<i>Xanthochorus cassidiformis</i> Blainville	x	x	x
<i>Argobuccinum argus</i> Gmelin	x	x	x
<i>Tegula atra</i> Lesson	x	x	—
<i>Crucibulum</i> sp.	x	—	—
Nudibranchia no identificado	x	x	—
Polychaeta Chaetopteridae	—	x	—
<i>Diopatra chiliensis</i> Quatrefages	x	x	x
<i>Balanus laevis</i> Brugiere	x	x	x
<i>Betaeus truncatus</i> Dana	x	x	—
<i>Rhynchocinetes typus</i> H. Milne Edwards	x	x	—
<i>Callianassa uncinata</i> H. Milne Edwards	x	—	—
<i>Pagurus gaudichaudi</i> H. Milne Edwards	x	x	x
<i>Eurypodius latreillei</i> Guérin	x	x	x
<i>Cancer coronatus</i> Molina	x	x	x
<i>Cancer edwardsi</i> Bell	x	x	—
<i>Cancer setosus</i> Molina	x	x	x
<i>Homalaspis plana</i> H. Milne Edwards	x	—	—
<i>Hepatus chilensis</i> H. Milne Edwards	x	—	—
<i>Taliepus dentatus</i> H. Milne Edwards	x	—	—
<i>Patiria chilensis</i> Lutken	x	x	x
<i>Stichaster striatus</i>	x	—	—
N° de especies	29	22	15

	ARRECIFE Nº		
	1	2	3
C) VERTEBRADOS			
<i>Polystotrema polystrema</i> Girard	x	x	—
<i>Schroederichthys chilensis</i> Guichenot	x	x	—
<i>Psammobatis scobina</i> Philippi	x	x	—
<i>Leptonotus blainvillanus</i> Eydoux y Gervais	x	x	—
<i>Aphos porosus</i> Cuvier y Valenciennes	x	—	—
<i>Paralichthys microps</i> Gunther	x	x	—
<i>Prolatilus jugularis</i> Valenciennes	x	—	—
<i>Merluccius gayi</i> Guichenot	x	—	—
<i>Genypterus chilensis</i> Guichenot	x	—	x
Clinidae	x	—	—
<i>Normanichthys crockeri</i> Clark	x	x	x
<i>Otaria flavescens</i> Shaw	x	—	—
Nº de especies	12	6	2
Nº Total de especies	49	38	21

croalgas, cuyo número total de especies fue mayor a profundidad media.

Colonización por macrofauna móvil

La Tabla 5 presenta los resultados de recuentos de macrofauna móvil en las 3 áreas arrecifales y en las respectivas áreas de referencia.

Estos datos indican una concentración de fauna móvil en todas las áreas de instalación y permiten establecer comparaciones entre ellas.

Un fenómeno observado en forma exclusiva en el arrecife 1, fue una abundante y rápida concentración de *Cancer spp.* (hasta una densidad máxima de 40 ejemplares/10 m²), durante el primer mes. Luego de marejadas que desplazaron parcialmente los módulos, la densidad de *Cancer* disminuyó a cerca de un 25% este valor (febrero), manteniéndose en este nivel hasta la fecha de interrupción de los controles, en abril. La abundancia de *Cancer*, en cambio, se mantuvo comparativamente baja en el arrecife 2 y fue mínima en el arrecife 3.

Otro organismo cuya abundancia en el arrecife 1 aumentó significativamente con respecto al área de referencia fue *Eurypodius latreillei*, cuya densidad no varió en forma substancial, entre el tercer y quinto mes. Esta especie, en los arrecifes 2 y 3, registró concentraciones notablemente mayores, siendo uno de los componentes más conspicuos en ambas áreas.

El caracol *Xantochorus cassidiformis*, la estrella *Patiria chilensis* y el antozoo *Antholoba*

achates, alcanzaron altas densidades en el arrecife 2, antes del primer año. A mayor profundidad y distancia de la costa (arrecife 3), la densidad de estos organismos en las estructuras, luego de un período de 14 meses, fue considerablemente menor.

En el área de referencia al arrecife 2 *A. achates* fue observada sólo como epibionte de *X. cassidiformis* o adherido a los tubos del poliqueto *Diopatra chilensis*. La abundancia de este poliqueto sobre el sedimento (Tabla 2), explicaría la alta densidad de ejemplares del antozoo en esa área control. En los módulos del arrecife 2, *A. achates* fue observada tanto sobre *X. cassidiformis* como adherida directamente a los módulos.

La densidad de peces y de elasmobranchios fue muy baja en todas las áreas arrecifales. Recuentos periódicos realizados en el arrecife 1, no señalaron diferencias significativas con respecto al área de referencia adyacente. En los arrecifes 2 y 3, las observaciones correspondieron generalmente a un solo ejemplar por recuento. Las especies registradas se indican en la Tabla 4.

Colonización por organismos sésiles

En la Tabla 6 se resumen diversas observaciones, principalmente cualitativas, sobre colonización por organismos sésiles, tanto de los módulos del arrecife 1 como de módulos de prueba y estructuras metálicas instaladas con anterioridad, en un área próxima (Pizarro, 1985 y observaciones personales). Al instalar substrato libre a baja profundidad, en primavera, ocurrió una rápida colonización

Tabla 6
Variación de abundancia de organismos colonizadores en el área del arrecife 1
sobre sustratos diversos (abril 1980 - noviembre 1983)

Fecha	Estructuras metálicas	SUSTRATOS	
		Módulos de prueba	Módulos de arrecife 1
Abril 1980	Instalación		
Septiembre 1981	Cobertura algal abundante: <i>Ulva nematoidea</i> , <i>Callophyllis chilensis</i> , <i>Rhodomenia sp.</i> <i>Macrocystis pyrifer</i> (juveniles ≥ 20 cm)	Instalación	
Noviembre 1981		100% cobertura <i>Ulva nematoidea</i> (≥ 60 cm) <i>Ectocarpus sp.</i> escaso.	Instalación
Diciembre 1981			13% cobertura <i>Ulva nematoidea</i> (≥ 2 cm)
Febrero 1982			73% cobertura <i>Ulva nematoidea</i> (≥ 60 cm) <i>Hydrozoa</i> y <i>Amphipleura rutilans</i> abundantes
Abril 1982			40% cobertura <i>Ulva nematoidea</i> (talos senescentes) <i>Hydrozoa</i> y <i>A. rutilans</i> presentes.
Noviembre 1983			<i>Ulva nematoidea</i> abundante, <i>Callophyllis chilensis</i> presente <i>A. rutilans</i> presente.

por *Ulva nematoidea*, especie que en el plazo de 2 a 3 meses ocupó prácticamente todo el sustrato disponible. En esta fase inicial de colonización, otras especies de macroalgas estuvieron poco representadas, pero hubo un considerable crecimiento de hidrozooos y diatomeas coloniales (*Amphipleura rutilans*) en los módulos.

Luego de alcanzar gran tamaño, los talos de *U. nematoidea* resultan desgarrados y envejecen, adquiriendo un aspecto coriáceo. Esta especie, sin embargo, presentaba una cobertura abundante, tanto sobre los módulos como sobre las estructuras metálicas, aproximadamente 2 años después de su instalación.

La colonización de estos sustratos por otras especies de algas fue lenta y, luego de

19 meses, el número total de especies se mantenía bajo.

La Tabla 7 presenta datos cuantitativos de colonización por organismos sésiles de los 3 arrecifes experimentales, obtenidos simultáneamente en enero de 1986.

Se aprecia en esta Tabla que la colonización fue mínima en el arrecife más profundo y máxima en número de especies, a profundidad media (arrecife 2). Por otra parte, se observó que la colonización de los arrecifes 2 y 3 fue considerablemente más lenta que la del arrecife 1. En el arrecife 2, aún no se apreciaba macroalgas o fauna sésil sobre los módulos, luego de un período de cuatro meses (febrero a junio de 1985). En el arrecife 3, transcurridos siete meses desde su instalación (noviembre, 1984 a junio, 1985), el subs-

Tabla 7
Colonización de arrecifes por organismos sésiles
 Evaluación realizada sobre 2 módulos retirados del fondo, en cada sector
 (n=6 cuadrículas de 100 m², en la superficie externa e interna de los módulos)

Tiempo de permanencia en el fondo	Módulos arrecife 1		Módulos arrecife 2		Módulos arrecife 3	
	Superficie externa	Superficie interna	Superficie externa	Superficie interna	Superficie externa	Superficie interna
	50 meses		11 meses		14 meses	
a) Macroalgas g/100 cm ²						
<i>Gladophora</i> sp.	0,6 ± 0,2	—	—	—	—	—
<i>Ulva nematoidea</i>	0,2 ± 0,1	—	5,6 ± 1,7	—	—	—
<i>Enteromorpha</i> sp.	—	—	*	—	—	—
<i>Bryopsis</i> sp.	—	—	*	—	—	—
<i>Gigartina chamissoi</i>	7,0 ± 1,7	—	*	—	—	—
<i>Rhodomenia</i> sp.	*	—	*	—	0,1 ± 0,1	—
<i>Antithamnion cruciatum</i>	1,0 - 0,3	—	0,4 ± 0,1	—	0,4 ± 0,1	—
<i>Ceramium rubrum</i>	2,2 ± 0,6	—	*	—	—	—
<i>Platythamnion</i> sp.	—	—	—	—	0,2 ± 0,2	—
<i>Phycodrys</i> sp.	—	—	*	—	0,6 ± 0,3	—
b) Fauna						
<i>Disciniscia laevis</i> (Nº/100 cm ²)	—	—	—	3,3 ± 1,2	—	0,8 ± 0,3
Bryozoa (1) (cobertura %)	—	25,0 ± 13,1	—	32,8 ± 10,7	—	0,3 ± 0,3
Polychaeta (cobertura %)	—	—	—	5,8 ± 2,9	—	—
<i>Balanus laevis</i> (Nº/100 cm ² , > 3 mm)	37,2 ± 24,0	33,5 ± 17,7	7,9 ± 1,8	53,0 ± 11,7	—	2,8 ± 1,7

* : < 0,1 g/100 cm²

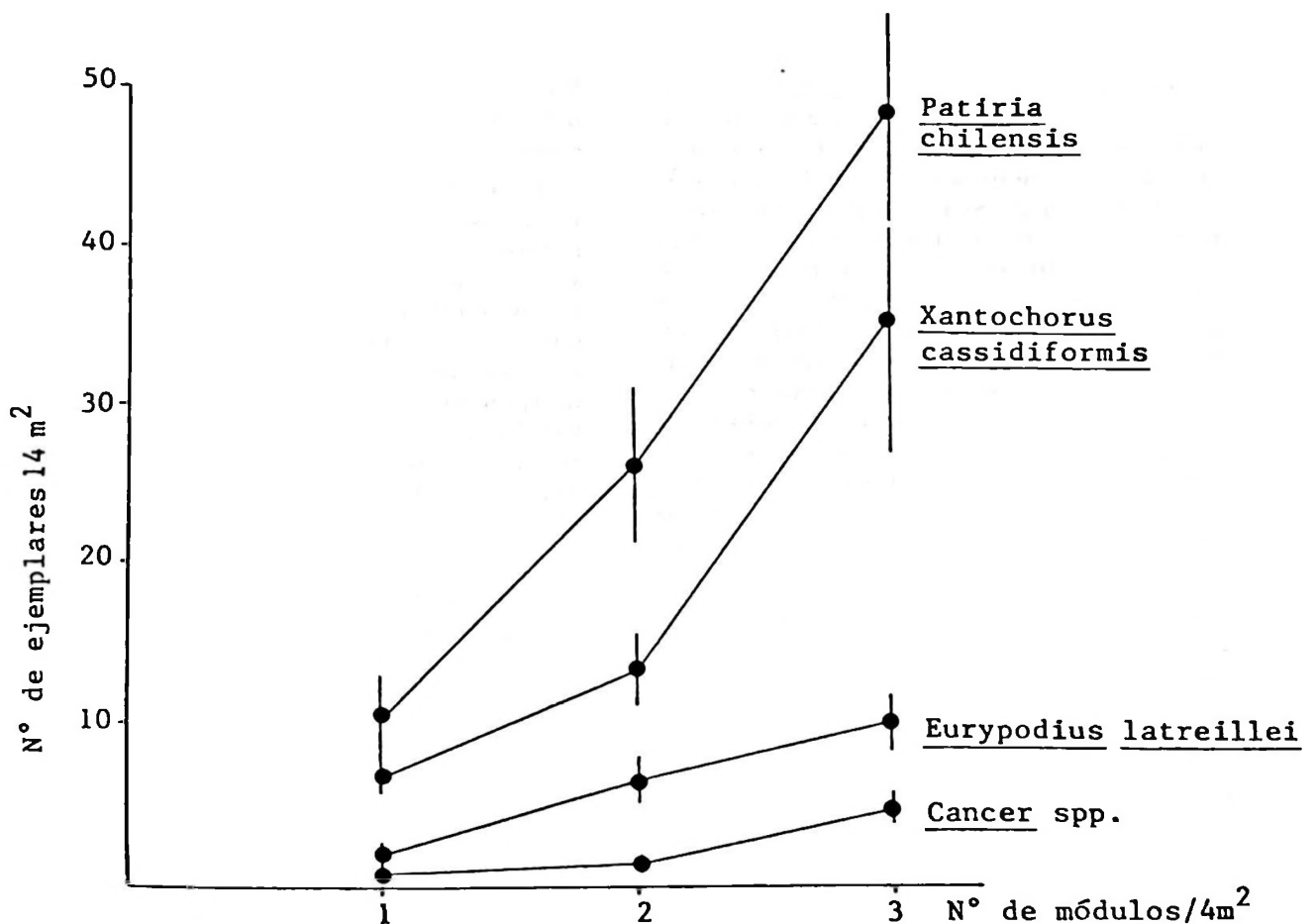
(1) : *Umbonula alvareziana* y *Electra hastingsae*

trato aparecía prácticamente desnudo, a excepción de muy escasas y pequeñas colonias de broyzoa. La superficie de los módulos, en ambas áreas, fue cubierta parcialmente por una fina película de limo.

Pese a esta mayor rapidez de colonización del arrecife 1 y no obstante su mayor antigüedad, no llegó a desarrollarse en él una asociación de organismos sésiles más compleja que en los arrecifes más nuevos y de colonización más lenta. Esta respuesta parece atribuible a las perturbaciones provocadas por el desplazamiento de los módulos y a procesos de abrasión y enterramiento.

Densidad de módulos y abundancia de macrofauna.

La Figura. 2 presenta la relación observada entre la densidad de unidades modulares y la abundancia de algunos componentes de la macrofauna móvil, en el arrecife 2.



Las barras verticales indican ± 1 error estándar.

La densidad de las especies consideradas aumentó, al aumentar el número de módulos por unidad de área. Este aumento fue considerable, y no lineal, para *P. chilensis* y *X. cassidiformis*, y más gradual, para los crustáceos *E. latreillei* y *Cancer spp.* cabe señalar que para todas las especies hubo una subestimación de abundancia en las áreas con agrupaciones de módulos, dado que éstos generalmente estaban en contacto por sus extremos, dificultando los recuentos en su interior.

Selección de microhábitat

Durante los recuentos de macrofauna móvil, se detectaron diferencias entre las distintas especies, respecto a su distribución en los refugios o microhábitat definidos en la Fig. 3. La Fig. 4 indica la distribución de cada especie, en el área del arrecife 2.

Las especies de *Cancer* fueron más abundantes en el interior de los módulos. La estrella *P. chilensis* también fue más abundante

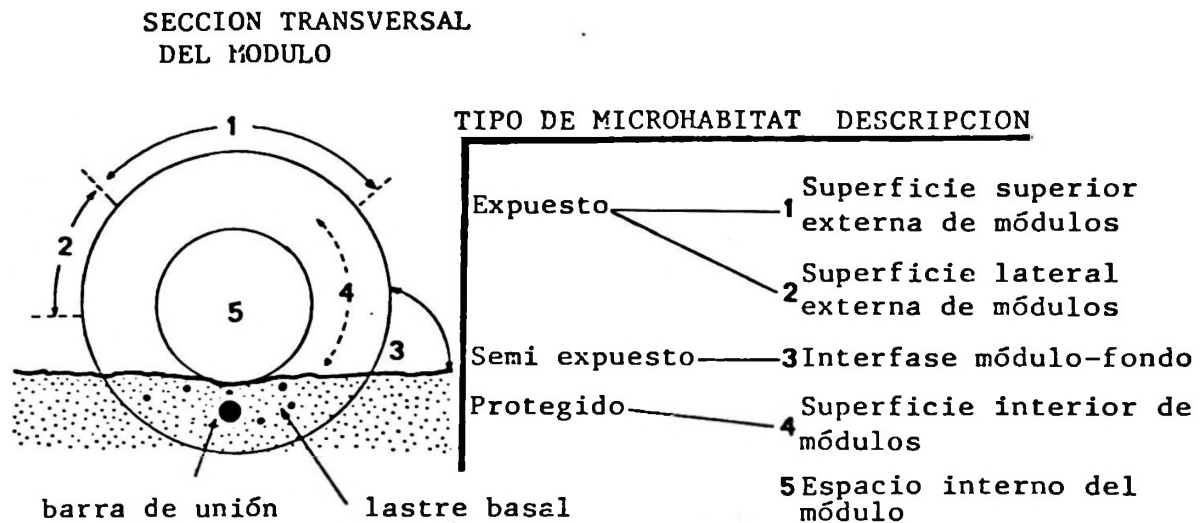


Figura 3. Ubicación de microhábitat en las estructuras modulares.
A: Sección transversal de un módulo, B: Descripción de los microhábitat.

en los microhábitat más protegidos, es decir, dentro de los módulos y en su zona de contacto con el fondo, donde ocurre una acumulación de sedimentos y detritos. El caracol *X. cassidiformis*, se presentó en abundancia comparable, tanto en zonas expuestas como más protegidas. Sin embargo, su densidad fue menor en la zona superior externa de los módulos. Otro organismo presente en similar densidad en la superficie externa e interna de los módulos, fue el decapodo *E. latreillei*. Sólo en la interfase módulo-fondo se registró menores densidades de esta especie. En el arrecife 3, este organismo fue observado en notable abundancia, adherido a ramas de árboles enredadas en algunos módulos.

Tanto *Nassarius spp.* como *Pagurus gaudichaudi*, fueron más abundantes en la superficie superior externa de los módulos, que en sus paredes laterales o base. El pequeño tamaño de estos organismos y la escasa visibilidad en el interior de los módulos, impidió cuantificar su abundancia en ese microhábitat. Algo semejante ocurrió con braquiuros de pequeño tamaño, que fueron observados, principalmente, en la zona de contacto de los módulos con el fondo.

Respecto de la fauna sésil, también se registró una distribución preferencial, en este caso, en las paredes interiores de los módu-

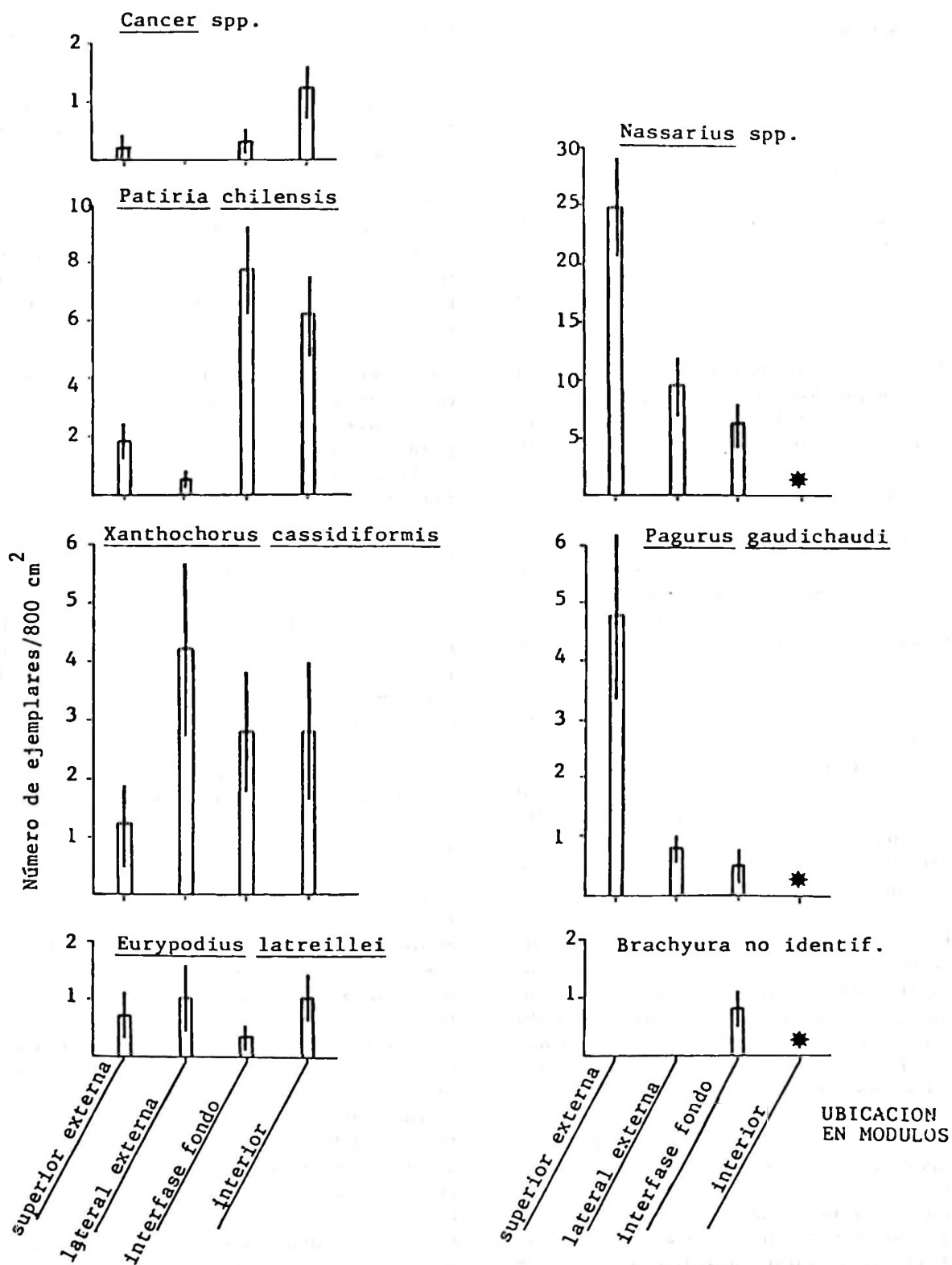
los. La excepción la constituyó *Balanus laevis*, que colonizó tanto superficies internas como externas (Tabla 7).

La implantación de una macroalga en los módulos sólo fue detectada en sus paredes exteriores (Tabla 7). Más aún, según se observó en los módulos del arrecife 1, recuperados en enero de 1986, las principales algas colonizadoras (i.e., *Gigartina chamissoi* y *Ceramium rubrum*) fueron más abundantes en los márgenes rugosos (cantos) de los neumáticos y en los bordes de sus perforaciones superiores (purgas de aire), que en sus superficies lisas (Tabla 8).

Tabla 8
Efecto de la rugosidad del sustrato sobre la abundancia de algas colonizadoras

Arrecife 1. Superficie superior externa de módulos. n = 6 muestras de 100 cm ² . Enero 1986.		
	Biomasa g/100 cm ²	Superficies rugosas
	Superficies lisas	
<i>Gigartina chamissoi</i> ¹	2,9 ± 1,7	11,1 ± 2,4
<i>Ceramium rubrum</i> ¹	1,0 ± 0,5	3,5 ± 1,0

¹P < 0,05 ANOVA



* No evaluado debido a pequeño tamaño de los organismos y visibilidad limitada.

Figura 4. Distribución de macrofauna móvil en los módulos del arrecife 2 (n=6). Enero 1986.

DISCUSION

El principal objetivo de la construcción de arrecifes artificiales ha sido lograr su abundante colonización por poblaciones de peces. Dicho efecto no fue observado en estos experimentos. La razón más evidente fue la notable y continua pobreza de ictiofauna en la bahía, a todas las profundidades consideradas. Sólo se observó una moderada concentración de peces, en un sector rocoso más próximo al arrecife 2, el que, al inicio del estudio, estaba colonizado por *Macrocystis pyrifera*.

A esta pobreza general de ictiofauna sería atribuible, por lo tanto, la escasa abundancia de peces registrada, aun en el área con mayor densidad de estructuras (arrecife 2).

Varios factores pudieron haber contribuido a esta baja efectividad de los arrecifes: su pequeño tamaño, poco relieve y relativo aislamiento, lo que, unido a la escasa transparencia del agua (ca. 3 m, en promedio; Romo, datos no publicados), pudo haber dificultado su detección por potenciales colonizadores. Antecedentes aportados por otros estudios indican, sin embargo, que estos factores no serían determinantes en áreas donde los peces son abundantes. Así, aunque se ha comprobado que la atracción de ictiofauna aumenta, al aumentar el tamaño de los arrecifes, arrecifes pequeños también han resultado muy eficientes. Independientemente del tamaño, la colonización de las estructuras, por peces, generalmente ocurre con rapidez (*sensu* Bohnsack & Sutherland, 1985).

Estudios comparativos con arrecifes naturales, han indicado que el relieve y complejidad estructural son menos determinantes de la abundancia de peces, que el área de fondo que cubren las estructuras (Patton *et al.*, 1985). Finalmente, y con respecto a un posible efecto de la turbidez del agua, se ha registrado una abundante y similar colonización por peces, en arrecifes ubicados tanto en aguas transparentes como turbias (Chang, 1985).

La pregunta básica de ¿qué determina la atracción de peces hacia los arrecifes?, permanece sin respuesta, aun para las especies comerciales más importantes (*sensu* Bohnsack & Sutherland, 1985).

Contrastando con lo observado en este estudio, en relación a la ictiofauna, la abundancia de algas e invertebrados aumentó en forma significativa y a todas las profundidades,

luego de instalar las estructuras. Sin embargo, aun tratándose de un rango batimétrico limitado (5 a 10 m), se observó que tanto la rapidez de colonización de los arrecifes como la abundancia y variedad de especies colonizadoras, disminuyeron con la profundidad. Diversas causas pueden haber contribuido a este fenómeno. La existencia de un sedimento fino y opaco y la turbidez del agua, sin duda, determinaron condiciones lumínicas más desfavorables para el crecimiento algal en los arrecifes más profundos. Por otra parte, y no obstante tratarse de un área relativamente poco extensa, la creciente distancia de los arrecifes a las poblaciones de origen, puede haber contribuido al gradiente observado, tanto en las algas como en algunos componentes de la fauna bentónica.

Al respecto, se ha señalado que el aislamiento de los arrecifes en amplias extensiones de fondos arenosos, limitaría a la inmigración de invertebrados adultos, desde áreas de concentración, como bosques de *Macrocystis* (Carter *et al.*, 1985).

En relación a la abundancia de *Cancer spp.* en las áreas arrecifales, la existencia de una posible dependencia trófica de estos braquiuros por *Tagelus dombeii* en fondos blandos (Pizarro, 1985), podría aportar una explicación a la disminución batimétrica de la abundancia de presas y depredadores (Tabla 2 y Tabla 5). No es posible, sin embargo, descartar un efecto determinante de la composición granulométrica y de la calidad del substrato (grado de contaminación), en la generación de este gradiente. A este respecto, resulta notable la ausencia de estudios sobre el substrato de instalación de los arrecifes y sobre interacciones de las comunidades arrecifales con la infauna de áreas adyacentes.

De las observaciones realizadas en el arrecife 2, quedó en evidencia que la abundancia de organismos que colonizan las estructuras, es función directa, y aparentemente no lineal, de la densidad de estas estructuras (Fig. 2). Dado que se empleó estructuras modulares prácticamente idénticas entre sí, este incremento de la abundancia de colonizadores es atribuible al aumento tanto de la superficie total como del volumen de huecos de los arrecifes.

No toda la superficie disponible es ocupada con igual intensidad por las distintas especies, existiendo refugios o microhábitat preferenciales. Para las algas, el substrato efectivamente disponible es sólo la superficie ex-

terna de los módulos, especialmente aquellas zonas cuya rugosidad y/o discontinuidad favorece la formación de turbulencias. Esta condición no sólo habría resultado favorable a procesos de difusión, sino también, habría contribuido a limitar la oclusión del sustrato por sedimentos. Por otra parte, el sustrato rugoso puede haber cumplido una función de refugio antiherbívoro, dada la notable abundancia de *Nassarius spp.* en los módulos.

En concordancia con el fenómeno observado, diversos estudios han señalado que la biomasa y diversidad de algas y de animales sésiles colonizadores, es mayor en bordes expuestos o cantos del sustrato y en superficies rugosas o con grietas y orificios (Foster 1975; *sensu* Bohnsack & Sutherland, 1985).

En oposición a lo observado con las algas, la mayor parte de los animales sésiles colonizaron solamente el interior de los módulos. Entre las especies de macrofauna móvil, se observó tanto organismos poco selectivos, respecto al grado de exposición del sustrato (e.g., *E. latreillei*, *X. cassidiformis*), como organismos con preferencia por zonas más protegidas (*Cancer spp.*, *P. chilensis*) o expuestas (aparentemente *Nassarius spp.* y *P. gaudi-chaudi*).

Aunque *Cancer spp.* fue más abundante en el interior de los módulos, se ha observado (Pizarro, 1985) que cuando su densidad es muy alta, ocupa totalmente el interior y también toda la zona basal externa de los módulos. Este hecho sugiere que los refugios disponibles son ocupados en forma secuencial por el braquiuro, saturándose primero aquellos más protegidos.

Las características del material utilizado en la construcción de los arrecifes de este estudio, durabilidad, bajo costo, gran disponibilidad y facilidad de traslado y manipulación, han determinado que, no obstante la creciente sofisticación de las técnicas de construcción de arrecifes, siga siendo empleado frecuentemente y con buenos resultados (Downing *et al.*, 1985; Feigenbaum *et al.*, 1985; Laufle & Pauley, 1985; Pollard & Matthews, 1985; Spanier *et al.*, 1985).

No obstante las ventajas señaladas, existe la interrogante respecto de un posible efecto tóxico del material o de sustancias normalmente adheridas a su superficie, no considerado en ninguno de los estudios citados. Al respecto, el grado de colonización por macrofauna móvil observado en las estructuras, el crecimiento en éstas de diversos organis-

mos sésiles, y la utilización de este sustrato para la postura (*Nassarius spp.*), o como refugio durante la muda (*Cancer edwardsi*), indican que de existir algún grado de toxicidad, éste no sería importante a mediano ni largo plazo. Por otra parte, aun cuando se observó cadáveres en moderada abundancia, dentro y fuera de los módulos, éstos correspondieron casi exclusivamente a ejemplares adultos de *Cancer spp.* Un hecho que, sin embargo, llamó la atención, fue la ausencia de filtradores como *Pyura chilensis* y especies de mytilidos, organismos que colonizan, abundantemente, otros sustratos suspendidos a baja profundidad en el área de estudio (Romo, observación personal).

Los resultados obtenidos señalan que aún en un área poco extensa, variados factores determinan notables diferencias en la abundancia y tipo de organismos que colonizan los arrecifes. Por esta razón, la instalación de unidades de prueba parece la vía más directa para una adecuada elección de sitios. Nuestros resultados señalan como más favorables a aquellos sectores de fondos someros que presenten las siguientes características:

- Moderada intensidad de corrientes, que limite la depositación de limo-arcilla y al mismo tiempo garantice la estabilidad y permanencia de las estructuras.
- Sustrato principalmente arenoso (de granulometría media a fina), estable y con propiedades reflectantes.
- Bajos niveles de contaminación.
- Abundante macroinfauna (e.g. *Tagelus dombeii*, *Callianassa spp.*).
- Proximidad a poblaciones colonizadores potenciales.

En Bahía Coliumo, habría concurrencia de estos factores en sectores relativamente amplios de su margen costero oriental y occidental.

Finalmente y reforzando la proposición planteada en el estudio previo (Pizarro, 1985), debería considerarse la introducción en los arrecifes de especies seleccionadas. La "siembra" de arrecifes artificiales con algas, bivalvos, erizos y otros invertebrados, ha sido frecuentemente efectuada en Japón (*sensu* Bohnsack & Sutherland, 1985). Esta y otras formas de manejo biológico (i.e., adición o exclusión de organismos clave), parecerían los procedimientos más efectivos para dirigir el desarrollo de las comunidades arrecifales (Carter *et al.*, 1985).

AGRADECIMIENTOS

Deseamos destacar y agradecer la valiosa y esforzada colaboración de los señores J. Cid, M. Sanhueza y V. Fernández en la construcción e instalación de uno de los arrecifes.

Esta investigación fue financiada por la Universidad de Concepción. Proyecto N° 20.37.07 de la Dirección de Investigación.

LITERATURA CITADA

- BOHNSACK, J.A. & D.L. SUTHERLAND. 1985. Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 11-39.
- BROCK, R. 1985. Artificial reefs for habitats enhancement. *Makai* 7(5): 3-5. University of Hawaii Sea Grant College Program.
- CARTER, J.W., A.L. CARPENTER, M.S. FOSTER & W.N. JESSE. 1985. Benthic succession on an artificial reef designed to support a Kelp-reef community. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 86-113.
- CHANG, K.H. 1985. Review of artificial reefs in Taiwan: emphasizing site selection and effectiveness. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 143-150.
- CRISP, D.J. 1971. Energy flows measurements. En: *Methods for the study of the marine benthos*, pp. 197-279. N.A. Holme and N.A. McIntyre (ed.) Blackwell, Oxford.
- DOWNING, N.R.A. TUBB, C.R. EL-ZAHR & R.E. McCLURE. 1985. Artificial reefs in Kuwait, northern Arabian Gulf. *Bulletin of Marine Sciences* 37(1): 157-178.
- FEIGENBAUM, D.C., H. BLAIR, M. BELL, J.R. MARTIN & M.G. KELLY. 1985. Virginia's artificial reef study: description and results of year. I. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 179-188.
- FOLK, R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill, Texas. 181 p.
- FOSTER, M.S. 1975. The regulation of algal community development in *Macrocystis angustifolia* forests. *Marine Biology* 32: 331-342.
- LAUFLE, J.C. & G.B. PAULEY. 1985. Fish colonization and materials comparisons on a Puget Sound artificial reef. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 227-243.
- NAKAMURA, M. 1985. Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 271-278.
- PATTON, M.L., R.S. GROVE & R.F. HARMAN. 1985. What do natural reefs tell us about designing artificial reefs in southern California. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 279-298.
- PIZARRO, A. 1985. Construcción y evaluación de un arrecife artificial experimental en Bahía Coliumo. *Medio Ambiente (Valdivia)* 7(2): 111-122.
- POLLARD, D.A. & J. MATTHEWS. 1985. Experience in the construction and siting of artificial reefs and fish aggregation devices in Australian waters, with notes on and a bibliography of Australian studies. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 299-304.
- SPANIER, E., M. TOM & S. PISANTY. 1985. Enhancement of fish recruitment by artificial enrichment of man-made reefs in the southeastern Mediterranean. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 356-363.
- STUARDO, J., L. CHUECAS, M. SALAMANCA & I. CÉSPEDES. 1983. Impacto de desechos de madera sobre el bentos de un sistema litoral frío-temperado: ¿Aportes energéticos o contaminación? En: *Resúmenes VIII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica*. Montevideo, Uruguay, p. 197.