

Ciclo reproductivo de *Loxechinus albus* (Molina 1782) (Echinodermata: Echinoidea) en Punta Lagunillas, IV Región, Coquimbo, Chile

Reproductive cycle of *Loxechinus albus* (Molina 1782)
(Echinodermata: Echinoidea) at Punta Lagunillas,
IV Region, Coquimbo, Chile

SYLVIO ZAMORA y WOLFGANG STOTZ

Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo,
Casilla 117, Coquimbo, Chile

RESUMEN

La población del erizo comestible chileno, *Loxechinus albus* (Molina 1782), en Punta Lagunillas, presenta un ciclo reproductivo anual bimodal, con dos épocas de madurez gonadal. La primera y principal se alcanza en junio, produciéndose el desove de los gametos entre fines de julio y fines de agosto. Esta época de desove coincide con registros de temperatura superficial cercana a los 14°C, con los días más cortos del año y es inmediatamente previa al máximo de producción primaria de primavera en la zona norte de Chile. El segundo período de maduración gonadal de verano no culmina en desove, sino que los gametos producidos en enero son reabsorbidos a fines de febrero. Los antecedentes generados en este trabajo permiten revisar la información actualmente disponible sobre la reproducción de esta especie y proponer un modelo general sobre las épocas de desove de poblaciones de *L. albus* que habitan la costa de Chile, desde Antofagasta (23°S), por el norte, hasta las Islas Guaitecas (45°S), en el sur.

Palabras claves: Ciclo reproductivo, Chile, histología gonadal, desove.

ABSTRACT

The population of Chilean edible sea urchin *Loxechinus albus* (Molina 1782) at Punta Lagunillas presents an annual bimodal reproductive cycle, with two periods of gonadal maturity. The first and principal maturity peak occurs in June, with spawning between the end of July and the end of August. This spawning season coincides with a surface water temperature of 14°C, the shortest daylength of the year and is immediately previous to the spring peak of primary production in northern Chile. The second summer maturity does not end with spawning, being the gametes produced in January, reabsorbed the end of February. The knowledge gained in this research made possible, together with the published information about the reproduction of this specie, to describe a generalized model of the occurrence of the spawning season for populations of *L. albus* along the coast of Chile from Antofagasta (23°S) in the north, to the Guaitecas Islands (45°S) in the south.

Key words: Reproductive cycle, Chile, gonadal histology, spawning.

INTRODUCCION

El ciclo reproductivo del erizo rojo *Loxechinus albus* (Molina 1782), conocido por los estudios de diversos autores (Gutiérrez & Otsú 1975, Bückle *et al.* 1978, Bay-Schmith *et al.* 1981, Guisado & Castilla 1987), presenta interrogantes para la zona norte de Chile. En efecto, en la costa chilena desde Valparaíso (33°S) a Islas Guaitecas (45°S) el ciclo reproductivo de *L. albus* ha sido descrito con un corto período reproductivo de tres meses al año. Aun-

que *L. albus* experimenta variaciones latitudinales en las épocas de desove, dentro del área mencionada, éste se produce entre los meses de julio a diciembre de cada año (Guisado & Castilla 1987), período que coincide con las temperaturas superficiales del agua más bajas y/o poco fluctuantes de la localidad de estudio (Bückle *et al.* 1978, Bay-Schmith *et al.* 1981, Guisado & Castilla 1987).

En Antofagasta (24°S), de acuerdo a Gutiérrez & Otsú (1975), se observarían tres épocas de desove: una masiva entre

noviembre y diciembre y dos menores en febrero y abril. Sin embargo, Bay-Schmith (1982) comparando estos resultados con el comportamiento de poblaciones de Valparaíso y Chiloé, sugiere que los dos desoves menores descritos por Gutiérrez & Otsú (1975) son sólo aparentes. Por otro lado, Zegers *et al.* (1983), estudiando poblaciones de Caleta Coloso, localidad cercana al sitio de estudio de Gutiérrez & Otsú (1975), detecta valores máximos en el Índice Gonádico (IG) en junio con descenso en los meses siguientes. Estas diferencias señalan que la descripción del ciclo reproductivo de *L. albus* en la zona norte de Chile requiere ser analizada e interpretada con nuevos antecedentes.

La importancia que tienen los equinoideos en la estructuración de comunidades inter y submareales (Paine & Vadas 1969, Vadas 1977, Vásquez 1989) y el nivel de sobreexplotación en que se encuentran las actuales poblaciones de *Loxechinus albus* (Moreno *et al.* 1987) señalan la relevancia de conocer los aspectos de su biología reproductiva que contribuyan, por un lado, a una mejor comprensión de su papel en las comunidades en que vive y, por otro, a desarrollar el conocimiento que permita implementar mejores medidas de manejo que aseguren su mantención como recurso de importancia económica.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo del presente trabajo es describir, a través de un estudio cuali y cuantitativo, el ciclo reproductivo de una población de *L. albus* ubicada en la región de Coquimbo y compararlo con otros estudios realizados en Chile.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

Las muestras se tomaron en Punta Lagunillas (30°05'39''S; 71°26'00''O), lugar situado a 19 km al sur de la ciudad de Coquimbo. Es una saliente rocosa que separa la Bahía de Lagunillas de playa El Francés (Fig. 1). Presenta una costa rocosa desmembrada, con promontorios rocosos en su parte anterior. Estos dejan espacios, a través de los cuales se produce un intercambio de agua permanente con pozones de aguas más tranquilas, de 2 a 4 m de profundidad, ubicados en la parte posterior. El fondo de los pozones, formado por bolones entre los cuales se acumula conchuela, se encuentra cubierto por algas crustosas calcáreas y densas poblaciones del erizo negro *Tetrapyrgus niger* (Molina).

En las zonas más expuestas de los pozones existe un cordón conspicuo de *Les-*

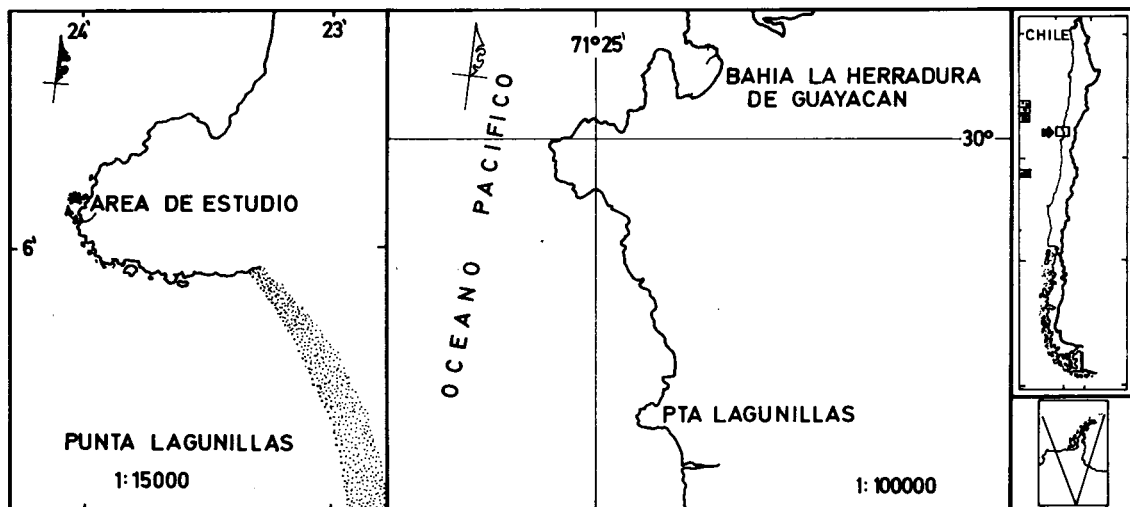


Fig. 1: Ubicación geográfica del área de estudio.
Geographical location of study area.

sonia nigrescens (Bory). Bajo y entre estas macroalgas se localizan poblaciones poco densas del equinoideo *Loxechinus albus* y los asteroideos *Heliaster helianthus* (Lamarck) y *Stichaster striatus* (Müller & Troschel).

Obtención y tratamiento de los ejemplares

Mensualmente, a partir de junio de 1987 y hasta julio de 1988, se obtuvieron mediante buceo apnea y autónomo, 30 ejemplares de *Loxechinus albus*. Se seleccionaron sólo individuos con un diámetro de testa entre 54,5 - 75,5 mm, a fin de reducir las variaciones en la medida del Índice Gonádico, introducidas al emplear animales de un amplio rango de tallas (Gonor 1972).

De cada ejemplar se obtuvieron los siguientes datos: diámetro de la testa (precisión 0,1 mm), peso húmedo total (precisión 0,1 gr) y sexo, determinado mediante frotis y/o muestra histológica de tejido gonadal. En la extracción de las gónadas se procedió a abrir el erizo, a través de los ambulacros (radios) I y III, cortando desde la membrana peristomal en la región oral, al sistema apical en la región aboral. Individualmente cada gónada se pesó húmeda (precisión 0,01 gr), eliminando previamente el exceso de agua con papel absorbente.

Cálculo del Índice Gonádico

El Índice Gonádico (IG) se determinó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IG = \frac{\text{Peso húmedo de las cinco gónadas}}{\text{Peso húmedo total del ejemplar}} \times 100$$

Tratamiento histológico de las muestras

De cada ejemplar se extrajo la gónada número dos, de acuerdo a la nomenclatura dada por Larraín (1975). La porción media de esta gónada se fijó en Bouin acuoso en agua de mar filtrada (1 µm). Siguiendo el procedimiento de la técnica histológica corriente (Martoja & Martoja-Pierson 1967), el tejido gonadal fue deshidratado en una

batería de alcohol creciente (70° - 100°), aclarado en xilol e incluido en parafina (punto fusión 57° - 60°C). De cada bloque se obtuvieron dos cortes paralelos al eje basal de la gónada de 5 µm de espesor cada uno y espaciados 400 µm uno del otro. Los cortes se tiñeron con Hematoxilina férrica de Harris y Eosina acuosa amarillenta.

Análisis cualitativo de las preparaciones histológicas

Se examinaron placas correspondientes a 20 ejemplares, 10 de cada sexo, por muestreo mensual. Cada preparación se clasificó empleando un criterio similar al descrito por Fuji (1960). Para ello se definieron cinco estados de desarrollo gonadal independientes para hembras y machos, descritos a continuación:

Hembras

Estado I (Desovado): Grupos de ovogonias y algunos ovocitos previtelogénicos se ubican sobre la pared interna del acino. Los abundantes fagocitos nutritivos forman una trama que recubre totalmente el lumen del acino (Fig. 2a). Los ovocitos maduros no desovados son reabsorbidos por los fagocitos nutritivos (Fig. 2c).

Estado II (Recuperación): Ovocitos previtelogénicos aislados en la periferia del acino. Persisten los fagocitos nutritivos (Fig. 2e).

Estado III (Crecimiento): Persisten los ovocitos previtelogénicos y los fagocitos nutritivos. Ovocitos vitelogénicos en crecimiento, recubren parcialmente la capa basal del acino (Fig. 2g).

Estado IV (Premaduro): Ovocitos previtelogénicos escasos. Numerosos ovocitos vitelogénicos adheridos y pedunculados tapizan la pared del acino (Fig. 2i).

Estado V (Maduro): Ovocitos maduros copan el lumen del acino, restringiendo tanto al tejido germinal como a los fagocitos nutritivos a la periferia del acino (Fig. 2k).

Machos

Estado I (Vacío): La trama formada por los fagocitos nutritivos ocupa completa-

mente el lumen del acino (Fig. 2b). Los escasos espermatozoides no evacuados que permanecen en el lumen del acino son reabsorbidos por los fagocitos nutritivos (Fig. 2d).

Estado II (Recuperación): Columna espermatogénica delgada formada por espermatogonias y espermatocitos. En el lumen del acino persisten los fagocitos nutritivos (Fig. 2f).

Estado III (Crecimiento): Aumento progresivo en grosor de la columna espermatogénica. Aparecen algunas espermátidas desprendiéndose al centro del acino, el cual aún presenta fagocitos nutritivos (Fig. 2h).

Estado IV (Premaduro): Línea espermatogénica completa. El progresivo desprendimiento de las espermátidas a partir de la columna espermatogénica, forma agrupaciones de espermatozoides en el lumen del acino. Entre ambos tipos celulares se observan los fagocitos nutritivos (Fig. 2j).

Estado V (Maduro): Lumen del acino repleto de espermatozoides, de modo que el tejido espermatogénico y los fagocitos nutritivos se reducen a una delgada banda periférica (Fig. 2l).

Los estados definidos anteriormente fueron empleados en el cálculo del Índice de Madurez Gonadal, de acuerdo a Yoshida (1952), según la siguiente relación:

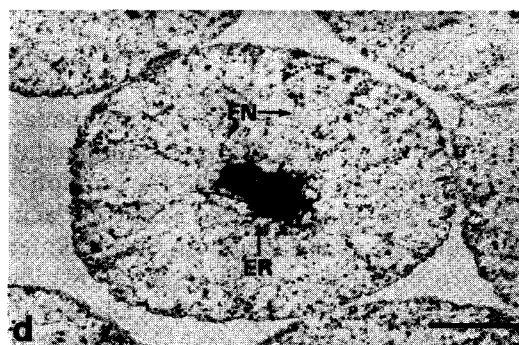
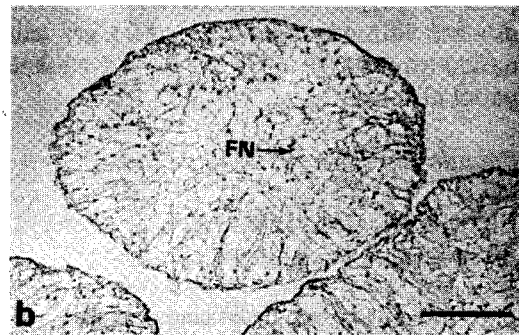
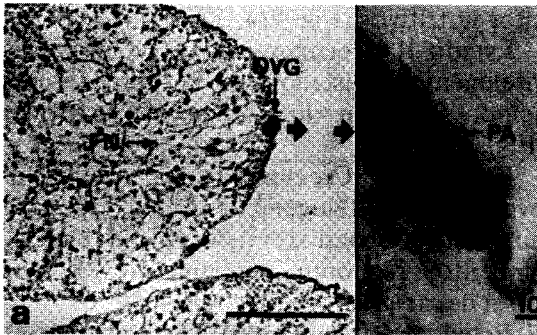
$$IMG = \frac{\Sigma (n \times F)}{N}$$

donde:

- IMG = Índice de Madurez Gonadal.
 F = Estado de desarrollo gametogénico (I-V).
 n = Número de animales en estado F.
 N = Número de animales en la muestra.

Análisis cuantitativo de las preparaciones histológicas

En el estudio cuantitativo se utilizaron mensualmente 10 preparaciones: 5 hembras y 5 machos. En hembras se empleó la metodología descrita por Pearse (1969), midiendo el diámetro de todos los ovocitos presentes en acinos gonadales circulares



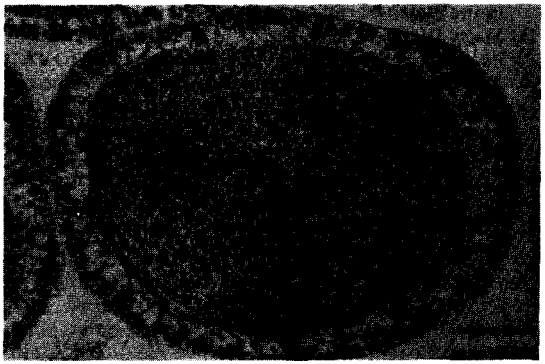
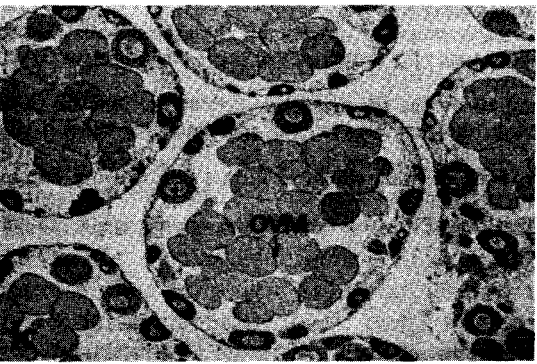
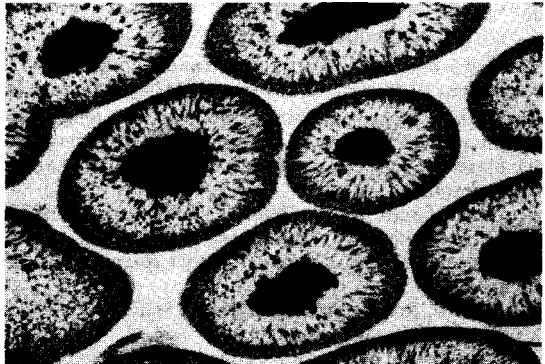
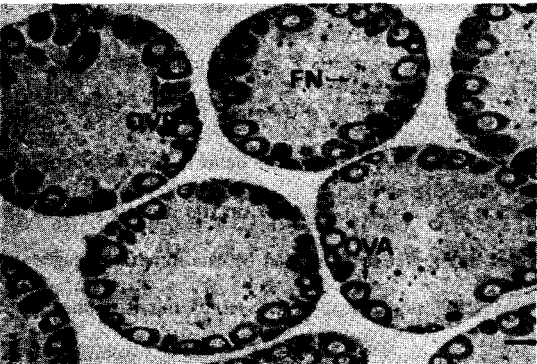
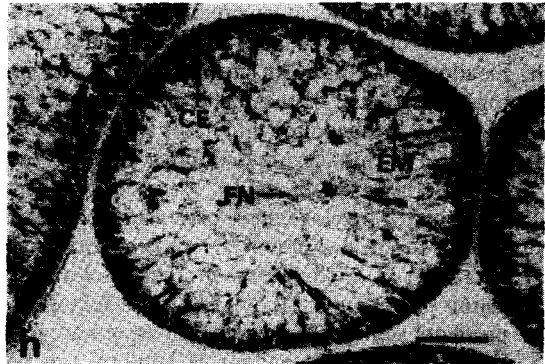
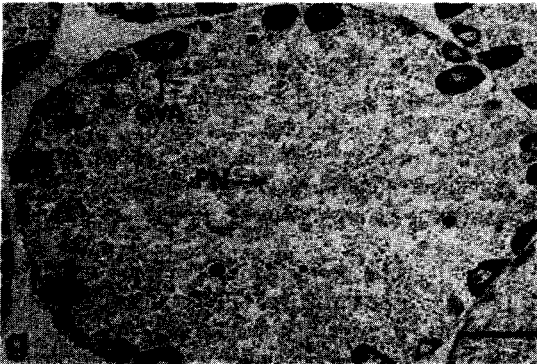
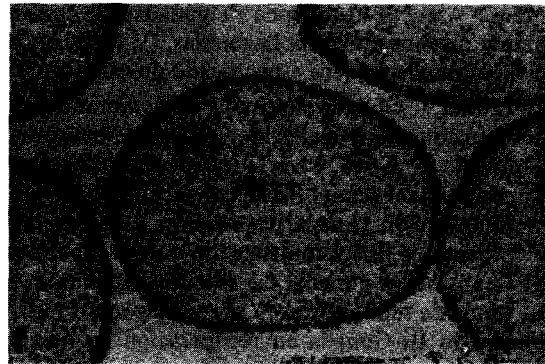
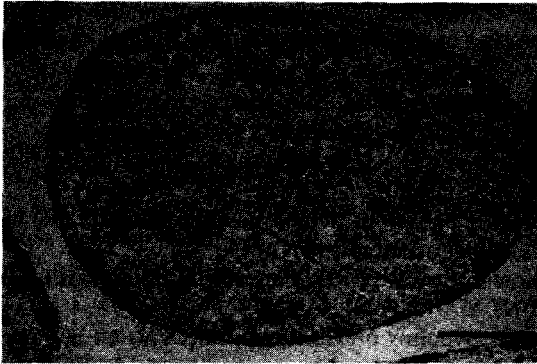


Fig. 2: Aspecto histológico de gónadas de *Loxechinus albus* durante el ciclo reproductivo anual en hembras y machos en Punta Lagunillas, IV Región, Coquimbo. Las barras negras representan 100 μm , a excepción de donde aparece especificado de otra forma.

- a) Estado I. Gónada desovada en hembra. Los fagocitos nutritivos (FN), células accesorias, forman una trama que repleta el acino. Grupos de ovogonias (OVG) adheridas a la pared (PA) interna del acino.
- b) Estado I. Gónada vacía en macho. Los fagocitos nutritivos (FN), al formar una trama eosinófila, confieren al acino un aspecto vacuolado.
- c) Reabsorción gonadal en hembra. Centralmente los acinos presentan óvulos no desovados (OVR) en proceso de lisis y comenzando a ser fagocitados por las células accesorias (FN).
- d) Reabsorción gonadal en macho. Espermatozoides en reabsorción (ER) se encuentran inmersos en la trama de tejido formada por los fagocitos nutritivos (FN).
- e) Estado II. Gónada en recuperación en hembra. Escasos ovocitos previtelogénicos (OPV) en la pared del acino, persisten los fagocitos nutritivos (FN).
- f) Estado II. Gónada en recuperación en macho. Columna espermatogénica delgada (CE), el resto del acino es ocupado por los fagocitos nutritivos (FN).
- g) Estado III. Gónada en crecimiento en hembra. Ovocitos vitelogénicos adheridos (OVA) a la pared del acino crecen rodeados por los fagocitos nutritivos (FN).
- h) Estado III. Gónada en crecimiento en macho. Aumento en grosor de la columna de células espermatogénicas (CE), algunas espermátidas (EM) inician su desprendimiento al lumen del acino en donde se ubican los fagocitos nutritivos (FN).
- i) Estado IV. Gónada premadura en hembra. Ovocitos en distintas fases de crecimiento tapizan completamente la pared del acino. Al crecer, los ovocitos vitelogénicos adheridos (OVA) cambian a la forma de ovocitos vitelogénicos pedunculados (OVP). El crecimiento de los ovocitos provoca el desplazamiento progresivo de los fagocitos nutritivos (FN).
- j) Estado IV. Gónada premadura en macho. Producto de la actividad espermatogénica se inicia la acumulación de espermatozoides (E) en el lumen del acino. Los fagocitos nutritivos (FN) ocupan ahora sólo parte del acino entre la columna espermatogénica (CE) y la masa de espermatozoides (E).
- k) Estado V. Gónada madura en hembra. Los fagocitos nutritivos (FN) se restringen a una delgada banda de tejido periférico rodeando a los ovocitos pequeños, el lumen del acino se encuentra repleto de ovocitos maduros (OVM).
- l) Estado V. Gónada madura en macho. El aumento en diámetro de la masa de espermatozoides (E) se corresponde con la disminución en grosor de la columna espermatogénica (CE).

Histology of the gonads of *Loxechinus albus* during the annual reproductive cycle of females and males from Punta Lagunillas, IV Region, Coquimbo. Scale bars represent 100 μm if not otherwise stated.

- a) Stage I. Spent gonad of female. Nutritive phagocytes (FN), the non-germinal accessory cells, form a network across the ascinus. Clusters of early oocytes (OVG) along the internal ascinal wall (PA).
- b) Stage I. Spent gonad of male. The nutritive phagocytes (FN) form a network across the ascinus, giving a vacuolated appearance.
- c) Gonadal resorption in females. The center of the ascinus contain unspawned ova (OVR) in the process of lysis and being fagocytosed by the accessory cells (FN).
- d) Gonadal resorption in males. Relict spermatozoa (ER) immersed in the network formed by the nutritive phagocytes (FN).
- e) Stage II. Recovering female gonad. Some previtellogenic oocytes (OPV) on the wall of the ascinus, nutritive phagocytes (FN) still present.
- f) Stage II. Recovering male gonad. Spermatogenic column (CE) thin, the nutritive phagocytes filling the ascini (FN).
- g) Stage III. Growing gonad of female. Adhered vitellogenic oocytes (OVA) grow attached to the ascinal wall and surrounded by nutritive phagocytes (FN).
- h) Stage III. Growing gonad of male. Spermatogenic column (CE) increasing in thickness, some free spermatids (EM) in the lumen of the ascinus which is occupied by nutritive phagocytes (FN).
- i) Stage IV. Premature gonad of female. Oocytes at all stages of development present on the ascinal wall. Through its growth, the adhered vitellogenic oocytes (OVA) gradually change into pedunculated vitellogenic oocytes (OVP). The growth of oocytes progressively displaces the nutritive phagocytes (FN).
- j) Stage IV. Premature gonad of male. Spermatozoa (E) produced by the spermatogenic activity, accumulate in the lumen of the ascinus. Nutritive phagocytes (FN) restricted to the part between the spermatogenic column (CE) and the central mass of spermatozoa (E).
- k) Stage V. Mature gonad of female. The nutritive phagocytes (FN) are either absent or form a thin network around the small oocytes. The lumen of the ascini are filled with ova (OVM).
- l) Stage V. Mature gonad of male. The central mass of spermatozoa (E) increases, while the spermatogenic column (CE) decreases its thickness.

que aparecían en un transecto que fue desplazado por toda la preparación, hasta completar un número no inferior a 150 ovocitos medidos. En machos se adoptó la metodología descrita por Holland & Holland (1969) y Kennedy & Pearse (1975), midiendo el grosor de la columna espermatogénica y el diámetro de la masa de espermatozoides en el lumen de 10 acinos circulares cuyo radio fuese igual o superior a 160 μm .

RESULTADOS

Proporción sexual de Loxechinus albus

De 256 ejemplares sexados: 124 (48%) fueron hembras, 107 (42%) machos y en 25 (10%) animales no se logró identificar el sexo, debido a la desaparición total de las células germinales, luego del desove. Esta tendencia fue similar durante todos los meses de muestreo, por tanto la proporción hembra-macho fue aproximadamente de 1:1.

Ciclo reproductivo de Loxechinus albus

El ciclo se inicia con valores mínimos del Índice Gonádico (IG) e Índice de Madurez Gonadal (IMG) en agosto, situación que se mantiene hasta noviembre (Figs. 3b y 3c). Durante este período de tiempo las gónadas de ambos sexos se encuentran evacuadas (Figs. 2a y 2b). Sin embargo, la aparición y producción de ovocitos de hasta 20 μm entre julio y octubre (Fig. 4), indica que la gónada presenta actividad a nivel de ovogonias y ovocitos primarios. La presencia de ovocitos maduros en los meses de agosto y septiembre señala que no todos los ejemplares han evacuado sus gónadas. En todo caso, a fines de septiembre los gametos no desovados son reabsorbidos por los abundantes fagocitos nutritivos presentes en los acinos, ya que en el muestreo de octubre no aparecen (Fig. 4). En machos, durante este período, la columna de células espermatogénicas queda representada sólo por espermatogonias, el resto del acino es ocupado por los fagocitos nutritivos (Fig. 2b). La falta de medi-

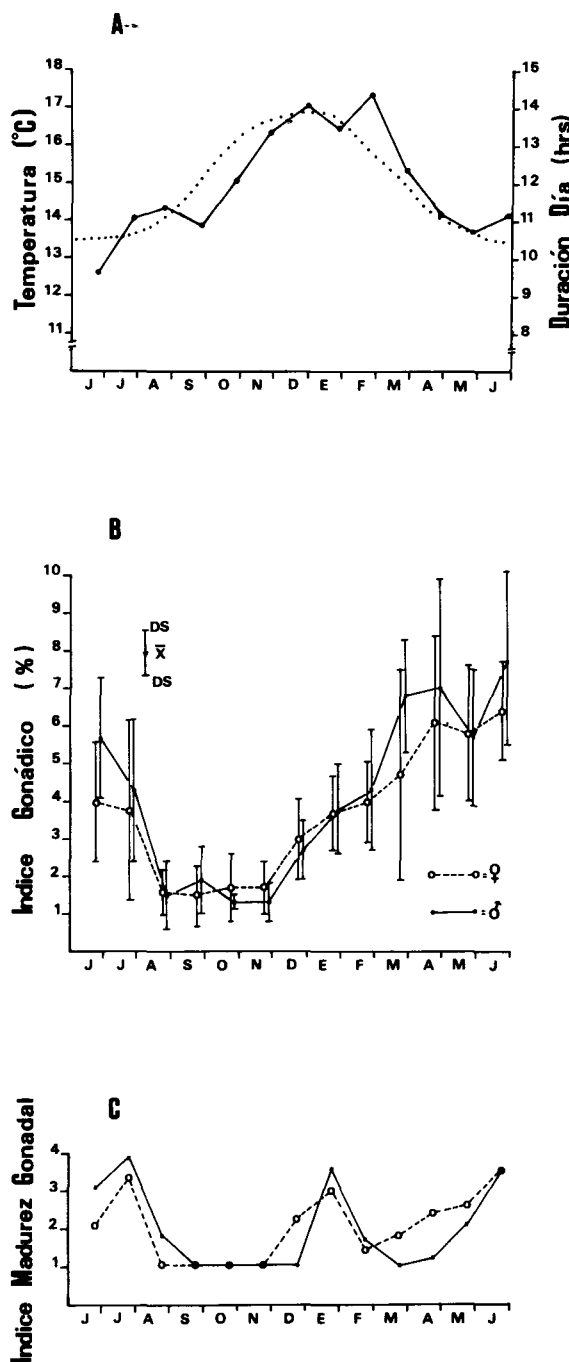


Fig. 3: Variación anual de (A) temperatura superficial del agua y duración del día, (B) Índice Gonádico y (C) Índice de Madurez Gonadal durante el ciclo reproductivo anual del erizo *Loxechinus albus* en Punta Lagunillas, IV Región, Coquimbo.

Annual variation of (A) sea surface temperature and daylength, (B) Gonad Index and (C) Gonad Maturity Index during the annual reproductive cycle of the sea urchin *Loxechinus albus* at Punta Lagunillas, IV Region, Coquimbo.

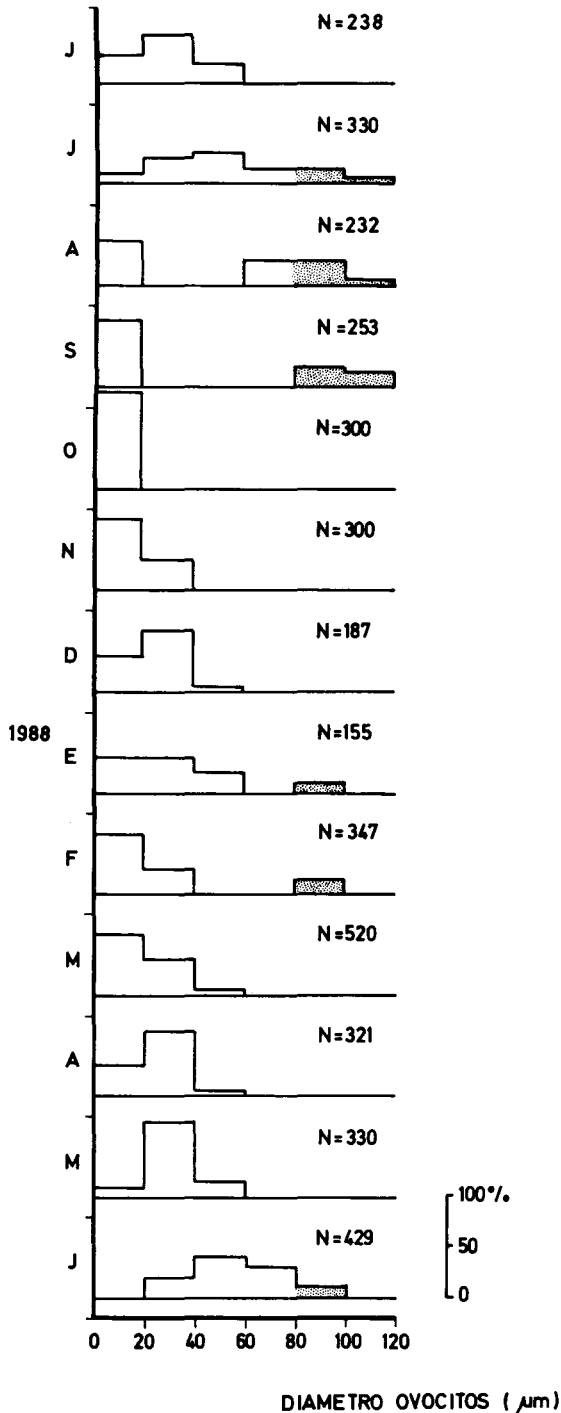


Fig. 4: Histograma de frecuencia porcentual de la distribución de tamaños de ovocitos (barras blancas) y óvulos (barras negras) durante el ciclo reproductivo anual de *Loxechinus albus* en Punta Lagunillas, IV Región, Coquimbo.

Percent size-frequency distributions of oocytes (white columns) and ova (black columns) during the annual reproductive cycle of *Loxechinus albus* at Punta Lagunillas, IV Region, Coquimbo.

ción cuantitativa de octubre y noviembre (Fig. 5), se debe a que no existen columna espermatogénica ni masa de espermatozoides. Sin embargo, esto no significa que no haya actividad a nivel de espermatogonias.

Los bajos valores en peso gonadal registrados durante los meses de primavera (Fig. 3b) obedecen a la incipiente actividad gametogénica y a la escasa cantidad de material nutritivo almacenado en las gónadas en esta fase del ciclo reproductivo. Esto, pese a que las gónadas no detienen su actividad gametogénica y que, además, reabsorben los gametos no desovados.

El inicio del crecimiento gonadal provoca un aumento paulatino del IG a partir de diciembre (Fig. 3b). A diferencia de los valores intermedios alcanzados por el IG en enero y febrero, el IMG señala que

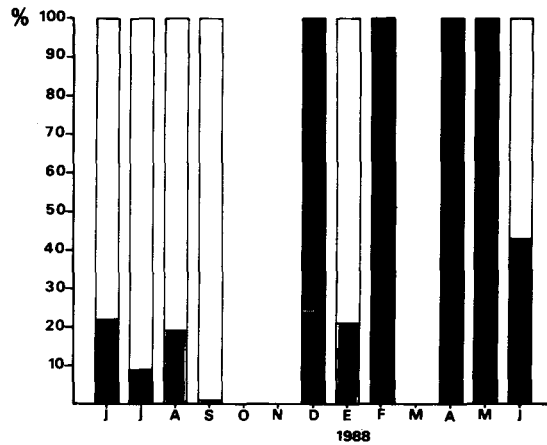


Fig. 5: Variación anual porcentual del área ocupada por la columna de células espermatogénicas (barras achuradas) y por los espermatozoides (barras blancas) durante el ciclo reproductivo anual de *Loxechinus albus* en Punta Lagunillas, IV Región, Coquimbo. Durante los meses de octubre, noviembre y marzo los acinos en machos se encuentran vacíos (Fig. 2f), por lo tanto, no hay una columna de células espermatogénicas o su altura es muy incipiente.

Annual variation of the percent area occupied by the spermatogenic column (stripped column) and the spermatozoa (white column) during the annual reproductive cycle of *Loxechinus albus* at Punta Lagunillas, IV Region, Coquimbo. During October, November and March the acini of males are completely empty (Fig. 2f), having no measurable spermatogenic column.

existen ejemplares maduros de *L. albus* en ambos meses (Fig. 3c). No obstante, el examen histológico de los acinos reveló que los óvulos y espermatozoides presentes se encuentran inmersos en la trama formada por los fagocitos nutritivos, que copan el acino (Figs. 2c y 2d). La presencia de estas células accesorias indicaría que los gametos maduros en ambos sexos no serían evacuados, sino reabsorbidos.

De acuerdo a la distribución de tamaños de los ovocitos (Fig. 4), la maduración de verano se inicia en septiembre-octubre, con una alta producción de ovogonias y ovocitos previtelogénicos, los cuales comienzan a crecer y desarrollarse en los meses siguientes, proceso que culmina con la aparición de gametos maduros en enero. En machos, a partir de las espermatogonias presentes en octubre y noviembre, se genera la columna espermatogénica en diciembre y los espermatozoides en enero (Fig. 5).

No obstante la presencia de animales maduros o al menos con ovocitos maduros en verano, no hay pérdida de peso gonadal que indique una evacuación de gametos al medio ambiente (Fig. 3b). Por el contrario, el IG sigue con la tendencia ascendente iniciada a fines de diciembre, la cual se continúa en forma ininterrumpida alcanzando valores máximos en los meses de otoño y principios de invierno (Fig. 3b). En cambio, el IMG muestra un valor mínimo a fines de marzo, incrementándose paulatinamente a mediados de otoño para alcanzar en invierno los valores máximos, donde nuevamente aparecen ejemplares maduros (Fig. 3c). Esta tendencia se refleja en el aspecto histológico de las gónadas. A la condición de recuperación gonadal de marzo (Figs. 2e y 2f), le sigue el aumento en tamaño de los ovocitos (Fig. 2g) y en grosor de la columna espermatogénica (Fig. 2h). Al comenzar el invierno (junio) las gónadas se encuentran premaduras (Figs. 2i y 2j) y un mes después maduras. Pero en este caso, a diferencia de lo observado en verano, no se nota la presencia de fagocitos nutritivos en el lumen de los acinos (compárense figuras 2c con 2k y 2d con 2l).

En términos cualitativos, las hembras comienzan a producir los primeros ovoci-

tos previtelogénicos en febrero. En otoño se observa notoria actividad gametogénica que culmina con la aparición de ovocitos maduros en invierno. En machos los eventos gametogénicos siguen un curso similar al de las hembras, ya que también en invierno aparecen espermatozoides en los acinos, con la consecuente disminución de la columna espermatogénica (Fig. 5).

Si bien las gónadas de *L. albus* alcanzan su máximo crecimiento a principios de otoño (Fig. 3b), el análisis histológico de los acinos gonadales en hembras (Figs. 2e y 2g) y machos (Figs. 2f y 2h) permite afirmar que los valores alcanzados por el IG, al menos desde marzo a mayo, obedecen a la acumulación de material nutritivo por parte de los fagocitos nutritivos.

Una situación distinta ocurre en invierno, donde el peso gonadal (Fig. 3b) es producto de la presencia de gametos maduros (Figs. 2k y 2l). En esta época del año, y aunque el IG inicia su descenso a fines de junio, la liberación de gametos más importante asociada con la mayor pérdida de peso gonadal ocurre entre fines de julio y fines de agosto, lo cual señala la época de desove de *L. albus* en Punta Lagunillas. Este fenómeno coincide con temperaturas de 14°C, aproximadamente, así como con los días más cortos del año (Fig. 3a).

DISCUSION

Los datos sobre épocas de desove aportados por el presente estudio, en conjunto con los recopilados y obtenidos por Guisado & Castilla (1987), muestran que el principal período reproductivo de *Loxechinus albus* en Chile ocurre más tarde en el año conforme se avanza hacia el sur (Fig. 6). En Caleta Coloso (23°S, Antofagasta), interpretando los datos de Zegers *et al.* (1983), el desove ocurriría en junio, en Punta Lagunillas (30°S, Coquimbo) entre junio y agosto (el presente estudio), en Valparaíso y El Quisco (32°S y 33°S) entre agosto y noviembre (Bückle *et al.* 1978, Guisado & Castilla 1987) y en Chiloé e Islas Guaitecas (42°S - 45°S) en noviembre y diciembre (Bay-Schmith *et al.* 1981). Sólo las poblaciones del extremo sur (Punta Arenas 53°S), al desovar en

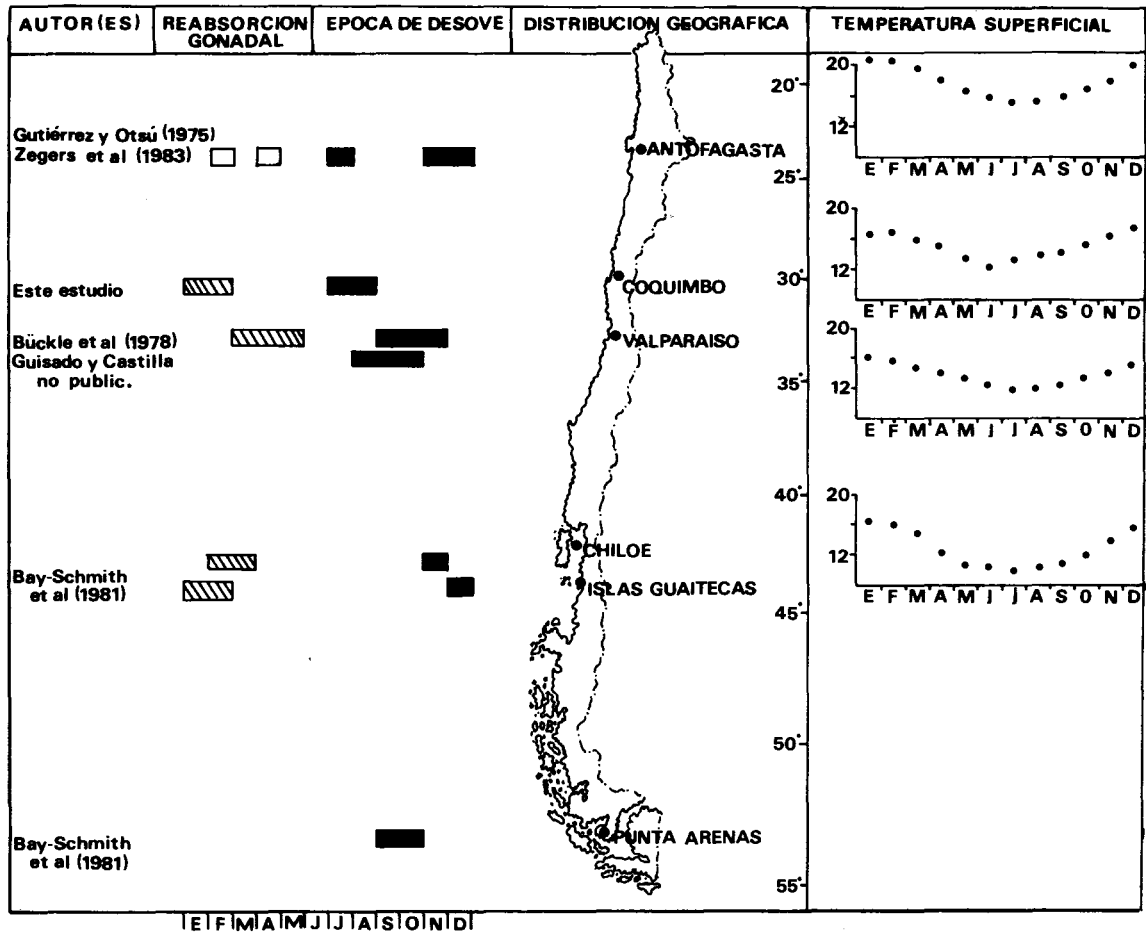


Fig. 6: Variación latitudinal en las épocas de desove de *Loxechinus albus* y su relación con la temperatura superficial (de acuerdo a Fonseca 1987) a lo largo de la costa de Chile.

Latitudinal variation of the spawning periods of *Loxechinus albus* and its relation to sea surface temperature (according to Fonseca 1987) along the Chilean coast.

septiembre-octubre (Bay-Schmith *et al.* 1981) y las de Mejillones (23°S) que, según Gutiérrez & Otsú (1975) desovarían en noviembre y diciembre, no se integran en este gradiente (Fig. 6).

No sorprende que las poblaciones de *L. albus* de Punta Arenas no sigan la tendencia en el desfase latitudinal en la época de desove descrito para el resto de la costa, debido a que tales poblaciones de erizo rojo se encuentran sometidas a un régimen oceanográfico distinto al que caracteriza la costa desde los 40°S - 42°S al norte, influida por la corriente de Humboldt. Sin embargo, las dudas surgen con el período de desove de noviembre-diciem-

bre descrito para la localidad de Mejillones (Antofagasta), establecido en base a una escala macroscópica de madurez gonadal (Gutiérrez & Otsú 1975). La interpretación del Índice de Condición (Fig. 5 de Gutiérrez & Otsú 1975) que, según estos autores, tendría un comportamiento similar al Índice Gonádico (IG), sugiere un desove entre mayo y julio y otro en enero, con lo cual esa población también quedaría integrada al gradiente arriba descrito. Esto se ve reforzado por los datos del IG de *L. albus* aportados por Zegers *et al.* (1983) para una localidad muy cercana a Mejillones, que sugieren un desove masivo en junio.

Nuestra interpretación de los datos de Gutiérrez & Otsú (1975), está basada en el resultado del presente estudio que muestra que el desove de *L. albus* se detecta mediante las variaciones del IG. De acuerdo a esto no es explicable la falta de correspondencia entre la variación del IG y las épocas de madurez establecidas por Gutiérrez & Otsú (1975) para la misma población, en donde las épocas de madurez coinciden con valores bajos del IG. Al respecto, es necesario señalar que las gónadas de equinoideos funcionan también como órganos de almacenamiento de nutrientes (Booolootian 1966, Bernard 1977), de modo que no todo ascenso del IG corresponde necesariamente a un incremento de la actividad gametogénica, sino que también puede obedecer a una acumulación de materiales de reserva. No obstante, la acumulación de óvulos en la gónada debiera corresponderse con valores altos del IG, o al menos no con los más bajos. De hecho, los estudios de Bückle *et al.* (1978), Bay-Schmith *et al.* (1981) y Bay-Schmith (1982) en *L. albus* así lo confirman. Si un ascenso del IG obedece a maduración o a acumulación de material de reserva, sólo puede visualizarse a través del estudio histológico de la gónada, método que no fue empleado en el estudio de Gutiérrez & Otsú (1975).

Zegers *et al.* (1983) observaron que erizos mantenidos y alimentados en jaulas suspendidas, además de no presentar un desove en junio y poseer valores del IG más altos que los de la población natural, muestran un ascenso gradual en peso gonadal desde junio hasta fines de octubre y un descenso brusco a partir de noviembre. Esto sugiere un desove en esa época para erizos en cautiverio y señalaría la probable influencia de la alimentación sobre el período reproductivo de *Loxechinus albus*. De acuerdo a ello, y si los individuos utilizados por Gutiérrez & Otsú (1975) para establecer los estados de madurez hubieran presentado una condición alimentaria diferente a los utilizados para determinar el IG, podría surgir una posible explicación para la falta de concordancia entre el IG y el estado de madurez para la población de Mejillones.

Los datos de Zegers *et al.* (1983) plantean también la factibilidad de manejo del ciclo reproductivo de la especie con fines de cultivo. Existiría la posibilidad de acondicionar animales para su desove en épocas en que no se encuentran individuos maduros en el ambiente natural, mediante la manipulación de la dieta.

Las poblaciones del erizo rojo existentes entre Antofagasta (23°S) e Islas Guaitecas (45°S), además de integrarse en el gradiente de las principales épocas de desove, comparten el hecho de presentar una segunda época de madurez gonadal en verano-otoño, diferenciándose la población de Punta Arenas, que presenta sólo una época de maduración (Bay-Schmith 1982) (Fig. 6). La presencia de gametos maduros durante los meses de verano ha sido interpretada de diversas maneras, debido a las características particulares que presenta la gónada en este período. De acuerdo a Gutiérrez & Otsú (1975) las dos cortas épocas de madurez de verano de la población de *L. albus* de Mejillones (o de acuerdo a la interpretación de sus datos hecha aquí, una en enero) corresponderían a desoves menores. Para Bückle *et al.* (1978), la correlación existente entre el descenso del IG con los contenidos de nitrógeno y agua de las gónadas durante el primer período reproductivo de agosto-noviembre, no se corresponde con lo detectado en verano, en donde el peso gonadal obedece al alto contenido de agua encontrado en las gónadas de hembras y machos. De acuerdo a estos resultados, Bückle *et al.* (1978) concluyen que la producción de gametos correspondiente al segundo período reproductivo de *L. albus* es reabsorbida y representaría una forma de almacenamiento de nutrientes para el período de inanición de otoño-invierno, anterior al único desove. En el sur de Chile la ausencia de equinopluteus de erizo rojo en muestras de plancton colectadas en primavera-verano (Bay-Schmith *et al.* 1981) sustenta la hipótesis que el segundo período de madurez de verano no termina en desove. En nuestro estudio, si bien existen gametos maduros en las gónadas en verano, también aparece gran cantidad de fagocitos nutritivos (Figs. 2c y 2d), situación distinta a lo ob-

servado en invierno, donde sólo aparecen óvulos en el lumen del acino (Figs. 2k y 2l). Esta condición gonadal ha sido interpretada como reabsorción de los gametos presentes en los acinos (Byrne 1990). Producto de ello, aun cuando en febrero histológicamente se encuentran gónadas con gametos maduros en ambos sexos, esto no se refleja en un descenso del IG. Además, en la continuación del ciclo, el aumento en peso gonadal de marzo es producto de la acumulación de nutrientes y no se debe a producción de gametos, ya que en este mes sólo aparecen ovogonias y ovocitos previtelogénicos (Fig. 2e). Por lo tanto, la energía producida y acumulada en las gónadas en forma de gametos durante los meses de verano no se pierde producto de un desove, sino que sería almacenada y probablemente ocupada durante el período reproductivo del invierno próximo. Por último, los estudios realizados por Gonor (1973) y Cochran & Engelmann (1975) indican que el período de inactividad que sigue al desove tiene relación con el tiempo necesario en adquirir reservas energéticas suficientes para producir gametos maduros. Por consiguiente, la activación y recuperación gonadal de otoño de *L. albus* bien puede sustentarse en la energía acumulada a través de la reabsorción de gametos ocurrida en verano.

Nos obstante lo anterior, hay antecedentes de inducción artificial al desove de erizos rojos recolectados en meses de verano en el norte de Chile, cuyos gametos han originado larvas y juveniles (Zamora & Stotz, resultados no publicados). Esto indica la capacidad, al menos potencial, de desove en ambiente natural.

Al comparar las épocas de desove de *L. albus* con la variación térmica superficial entregada por Fonseca (1987), en cada uno de los lugares donde se ha estudiado el ciclo reproductivo de esta especie, se aprecia que el desove se produce a temperaturas entre 11°C y 14°C (Fig. 6). En equinoideos, particularmente en *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson), existen evidencias del efecto directo de la temperatura, provocando el desove, sin embargo no está claro si lo activa, lo acelera o lo adelanta (Cochran & Engelmann

1975).- Además, no se descartan otros factores, entre ellos el fotoperíodo, dado que para la población de *L. albus* de Punta Lagunillas, el desove también se corresponde con los días más cortos del año. Por último, la relación entre época de desove y la presencia de alimento para las larvas ha sido demostrada por Himmelman (1975, 1980) en varias especies de invertebrados con larva planctotrófica, incluyendo al erizo *Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F. Müller). En Bahía La Herradura, una localidad cercana al sitio de estudio, el descenso térmico de invierno se relaciona con el ascenso de aguas subsuperficiales, que presentan bajas concentraciones de oxígeno y altas concentraciones de nutrientes (Olivares 1988). De esta manera, la época de desove de *L. albus* podría estar relacionada a un período de alta producción primaria, favorable para la alimentación y desarrollo hasta la metamorfosis de la larva equinopluteus de la especie, cuya duración fluctúa entre 20 (Arrau 1958) y 33 días (González *et al.* 1987) a una temperatura de 10°-12°C.

La coincidencia de la época de desove con temperaturas bajas, producidas durante los días más cortos del año y seguidas de un período de alta productividad primaria, sugiere fuertemente una relación entre estos fenómenos y el período reproductivo del erizo *L. albus*. Ello señala el camino a seguir en futuras investigaciones sobre la sincronización del ciclo reproductivo de la especie, de modo de generar la información necesaria para su manejo en laboratorio (hatchery) y en ambiente natural con fines de un futuro repoblamiento y recuperación de la pesquería del erizo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de la tesis de grado del primer autor para optar al título de Biólogo Marino y al grado de Licenciado en Ciencias del Mar en la Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo. Se expresa un reconocimiento especial a los profesores Donald Brown y Rafael Guerra, quienes iniciaron e incentivaron al primer autor a desarrollar esta área de las Ciencias del Mar. Los autores agradecen al señor Carlos Moreno por sus correcciones, sugerencias y aportes para mejorar el presente manuscrito.

LITERATURA CITADA

- ARRAU L (1958) Desarrollo del erizo *Loxechinus albus* Mol. Revista de Biología Marina Chile 7(2): 39-62.
- BAY-SCHMITH E, C WERLINGER & J SILVA (1981) Ciclo reproductivo anual del recurso erizo *Loxechinus albus* entre la X y XII regiones. Informe Final Proyecto de Investigación convenio Subsecretaría de Pesca. Universidad de Concepción. (Dactilografiado) 68 pp.
- BAY-SCHMITH E (1982) *Loxechinus albus* (Molina). Echinoidea, Echinoida, Echinidae. Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para el desarrollo pesquero. IFOP Chile 9: 1-52.
- BERNARD FR (1977) Fishery and reproductive cycle of the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* in British Columbia. Journal Fisheries Research Board Canadian 34: 604-610.
- BOOLOOTIAN RA (1966) Reproductive physiology. In: Boolootian RA (ed) Physiology of Echinodermata: 561-614 Interscience Publishing New York.
- BÜCKLE F, CH GUIASADO, E TARIFEÑO, A ZULETA, L CORDOBA & C SERRANO (1978) Biological studies on the Chilean sea urchin *Loxechinus albus* (Molina) (Echinodermata: Echinoidea). IV. Maturity cycle and seasonal biochemical changes in the gonad. Ciencias Marinas México 5(1): 1-18.
- BYRNE M (1990) Annual reproductive cycle of the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* from an exposed intertidal and a sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. Marine Biology 104: 275-289.
- COCHRAN RC & F ENGELMANN (1975) Environmental regulation of the annual reproductive season of *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). Biological Bulletin Marine Biology Laboratory Woods Hole 148: 393-401.
- FONSECA TR (1987) Anomalías de temperatura y nivel del mar en la costa del Pacífico Sudoriental. Ciencia y Tecnología del Mar CONA 11: 17-43.
- FUJI A (1960) Studies on the biology of the sea urchin. II. Size at first maturity of two sea urchins, *Strongylocentrotus mudus* and *S. intermedius*. Bulletin of the Faculty Fisheries Hokkaido University 11 (2): 43-48.
- GONOR JJ (1972) Gonadal growth in the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson) (Echinodermata: Echinoidea) and the assumptions of Gonadal Index methods. Journal Experimental Marine Biology and Ecology 10: 89-103.
- GONOR JJ (1973) Reproductive cycles in Oregon populations of the echinoid, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson) II. Seasonal changes in oocyte growth and in abundance of gametogenic stages in the ovary. Journal Experimental Marine Biology and Ecology 12: 65-78.
- GONZALEZ L, JC CASTILLA & CH GUIASADO (1987) Effect of larval diet and rearing temperature on metamorphosis and juvenile survival of the sea urchin *Loxechinus albus* (Molina 1782) (Echinoidea, Echinidae). Journal of Shellfish Research 6 (2): 109-115.
- GUIASADO CH & JC CASTILLA (1987) Historia de vida, reproducción y avances en el cultivo del erizo comestible chileno *Loxechinus albus* (Molina 1782) (Echinoidea: Echinidae). En: Arana P (ed) Manejo y Desarrollo Pesquero: 59-68. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- GUTIERREZ J & M OTSÚ (1975) Periodicidad de las variaciones biométricas de *Loxechinus albus* Molina. Revista de Biología Marina. Valparaíso 15(2): 179-199.
- HIMMELMAN JH (1975) Phytoplankton as a stimulus for spawning in three marine invertebrates. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 20: 199-214.
- HIMMELMAN JH (1980) Synchronization of spawning in marine invertebrates by phytoplankton. In: Clark WH & TS Adams (eds.). Advances in Invertebrate Reproduction: 3-19. Elsevier North Holland Inc., Amsterdam.
- HOLLAND ND & LZ HOLLAND (1969) Annual cycle in germinal and nongerminal cell population in the gonads of the sea urchin *Psammechinus microtuberculatus*. Publishing Staz. Zoology Napoly 37: 394-404.
- KENNEDY B & JS PEARSE (1975) Lunar synchronization of the monthly reproductive rhythm in the sea urchin *Centrostephanus coronatus* Verrill. Journal Experimental Marine Biology and Ecology 17: 323-331.
- LARRAIN A (1975) Los equinoideos fósiles y recientes de Chile. Gayana Zoología 35: 1-189.
- MARTOJA R & M MARTOJA-PIERSON (1967) Initiation aux techniques de l'histologie animale. Masson et Cie, éditeurs Paris.
- MORENO CA, C GODOY, E VILLOUTA & I LEPEZ (1987) Explotación de recursos bentónicos litóral: una alternativa derivada de la protección de áreas. En: P Arana (ed) Manejo y Desarrollo Pesquero: 51-58. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- OLIVARES J (1988) Variación temporal de las condiciones oceanográficas de Bahía La Herradura de Guayacán (Chile). Biota 4 (2): 89-106.
- PAINE RT & L VARAS (1969) The effects of grazing by sea urchins, *Strongylocentrotus* spp. on benthic algal populations. Limnology and Oceanography 14: 710-719.
- PEARSE JS (1969) Reproductive periodicities of Indo-Pacific invertebrates in the Gulf of Suez. II. The echinoid *Echinometra mathei* (DeBlainville). Bulletin Marine Science 19: 580-613.
- VADAS RL (1977) Preferential feeding: and optimization strategy in sea urchin. Ecology Monograph 47: 196-203.
- VASQUEZ J (1989) Estructura y organización de huirales submareales de *Lessonia trabeculata*. Ph.D. Tesis Facultad de Ciencias Universidad de Chile 261 pp.
- YOSHIDA M (1952) Some observations on the maturation of the sea urchin, *Diadema setosum*. Annot. Zoology Japan 25: 265-271.
- ZEGERS J, M OLIVA, C HIDALGO & L RODRIGUEZ (1983) Crecimiento de *Loxechinus albus* (Molina 1782) (Echinodermata: Echinoidea) en sistemas de jaulas suspendidas a media agua. Memorias de la Asociación Latinoamericana de Acuicultura 5: 369-378.