

# Variabilidad reproductiva del erizo negro *Tetrapygyus niger* (Molina 1782) en dos localidades del norte de Chile: implicancias a nivel individual y poblacional

Reproductive variability of the black sea urchin *Tetrapygyus niger* (Molina 1782) in two localities of northern Chile: implications at individual and population level

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

En los diversos estudios de biología reproductiva de equinoideos se asume que las diferencias en el Índice Gonádico, dentro de un rango de tallas, significan también diferencias en el potencial reproductivo de la población. En la zona Norte de Chile, poblaciones de *Tetrapygyus niger* que habitan ambientes cercanos presentan variabilidad reproductiva intraespecífica, en términos de crecimiento gonadal y en el porcentaje de peso corporal desovado. Sin embargo, estas diferencias individuales en el potencial reproductivo de *T. niger* desaparecen a nivel poblacional, al introducir en el análisis datos de densidad y biomasa. Los individuos de la población de Bahía La Herradura desovan un mayor porcentaje de su peso corporal en comparación a los erizos de Punta Lagunillas. No obstante, esta última presentó una menor densidad y una mayor biomasa, la producción de gametos por unidad de superficie resultó similar en ambas localidades. Esto revela la existencia en *T. niger* de mecanismos compensadores de la producción gonadal entre poblaciones, similares a los descritos en la literatura para *Diadema antillarum*.

**Palabras claves:** *Tetrapygyus niger*, equinoideo, variabilidad reproductiva, producción gonadal.

## ABSTRACT

In most studies on reproductive biology of echinoids, when differences among gonad index of two populations exist, equivalent differences in the reproductive potential are assumed. In northern Chile, populations of *Tetrapygyus niger*, which live in different sites, show differences in terms of gonad growth and on the proportion of spawned body weight. Nevertheless, these differences disappear at the population level, when density and biomass data are considered. The individuals in Bahía La Herradura spawn a greater proportion of their body weight, than those from Punta Lagunillas. But as the latter show a higher density and greater biomass, the production of gametes per unit surface is the same in both localities. This demonstrates for *T. niger* the existence of mechanisms which compensate the gonad production among populations, as it has been described in the literature for *Diadema antillarum*.

**Key words:** *Tetrapygyus niger*, echinoid reproductive variability, gonad production.

## INTRODUCCION

Poblaciones de equinoideos que habitan ambientes cercanos entre sí, pero sometidas a condiciones ambientales distintas pueden presentar variabilidad reproductiva intraespecífica (Booolootian 1966, Ernest & Blake 1981). Esta característica la presentan las poblaciones del erizo negro, *Tetrapygyus niger* en la zona Norte de Chile y se expresa en diferencias en el crecimiento gonadal (Zamora & Stotz en prensa). Esta variabilidad podría expresar divergencia genética o bien adaptación fenotípica

ante factores externos presentes en cada lugar en particular (Sastrey 1975). Diversos estudios han demostrado el efecto tanto de variables abióticas como bióticas en la productividad gonadal (Ernest & Blake 1981). Entre los factores más estudiados se encuentran el fotoperíodo, temperatura, exposición al oleaje, profundidad, cantidad y calidad del alimento, predadores, densidad y proporción sexual (Briscoe 1988). Diferencias intraespecíficas en la producción gonadal también han sido explicadas a partir del efecto combinado de dos o más de estos factores (Larson *et al.*

1980, Nichols *et al.* 1983, Keats *et al.* 1984, Nichols *et al.* 1985, Andrew 1986, Byrne 1990).

Por lo general, al encontrar diferencias en el Índice Gonádico dentro de un rango de tallas, se asume que ello indica también diferencias en el potencial reproductivo de la población (Keats *et al.* 1984, Briscoe 1988, Byrne 1990). Sin embargo, a nivel poblacional podrían existir una serie de relaciones y/o asociaciones que permitieran compensar las diferencias observadas a nivel individual. Levitan (1991) en su modelo de producción de cigotos indica que en poblaciones densas, el alto éxito en la fertilización puede ser compensada a través de un descenso en la producción de gametos, en especies en las cuales el crecimiento corporal sea denso dependiente. Así, poblaciones densas con un bajo nivel de producción gametogénica a nivel individual, compuestas por ejemplares de tallas intermedias o pequeñas pueden producir cantidades similares de cigotos que poblaciones con baja densidad, pero conformadas sólo por individuos de tallas grandes, con una alta producción individual de gametos.

Levitan (1991) demuestra lo anterior mediante la estimación de la producción individual de cigotos para la población de *Diadema antillarum* Philippi antes y después de un evento de mortalidad masiva. La disminución de la densidad de *D. antillarum* tuvo como efecto un aumento de individuos de tallas grandes con alta producción gametogénica. Teóricamente esto debería haber resultado en una rápida recuperación de la densidad poblacional inicial. Sin embargo, esto no ocurrió, ya que el brusco descenso de la densidad redujo también drásticamente el éxito en la fertilización de esa población. Esto pone de manifiesto que para hacer predicciones y/o interpretaciones ecológicas del potencial reproductivo, se requiere integrar parámetros poblacionales a las variables habitualmente utilizadas, generalmente obtenidas de datos de producción gonadal individual.

Por tanto, un menor valor en el Índice Gonádico registrado dentro de un rango de tallas en particular en las poblaciones de *T. niger* de Punta Lagunillas y Bahía La Herradura, no significa necesariamente que la población en su conjunto tenga un menor potencial reproductivo, ya que esto no consideraría el

efecto de mecanismos compensatorios, cuya existencia ha sido demostrada recientemente por Levitan (1991). A fin de evaluar esta hipótesis, se comparan el ciclo reproductivo y la producción gonadal a nivel individual y poblacional de dos poblaciones de *T. niger* que habitan ambientes cercanos.

## MATERIALES Y METODOS

### Áreas de estudio

Las muestras se obtuvieron de dos áreas próximas, pero que difieren en cuanto al grado de exposición al oleaje: Punta Lagunillas, que es una punta rocosa expuesta, y Bahía La Herradura de Guayacán, que ha sido definida como una de las bahías más protegidas de la zona norte de Chile (Pacheco & Berríos 1978).

Las características de Punta Lagunillas (30°05'39" latitud Sur; 71°26'00" longitud Oeste) (Fig. 1a) y del lugar de colecta fueron

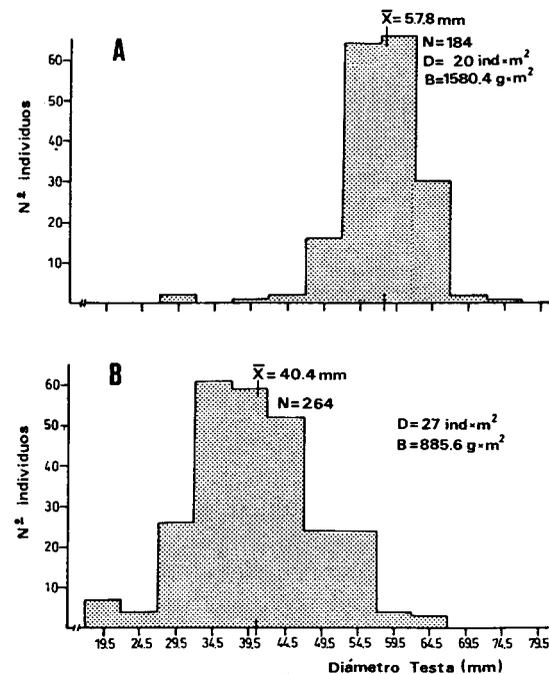


Fig. 1: Distribución de tallas de poblaciones de *Tetrabygus niger* en (A) Punta Lagunillas y (B) Bahía La Herradura de Guayacán, Coquimbo. X = Diámetro de testa promedio, N = Número de ejemplares, D = Densidad poblacional y B = Biomasa.

Size distribution of populations of *Tetrabygus niger* at (A) Punta Lagunillas and (B) La Herradura of Guayacán Bay, Coquimbo. X = Mean of test diameter, D = Population density and B = Biomass.

descritas por Zamora & Stotz (1992). *Tetrapygus niger* coexiste ahí con el erizo comestible *Loxechinus albus* (Molina 1782). Las características topográficas y oceanográficas de la Bahía La Herradura (29°58'30" latitud Sur; 71°22'30" longitud Oeste) han sido descritas por Pacheco & Berríos (1978), Alfsen (1979) y Olivares (1988).

#### *Cálculo del Índice Gonádico (IG)*

La determinación del IG se realizó empleando 30 ejemplares obtenidos mensualmente en cada localidad. El IG se calculó mediante dos métodos, el primero, según la siguiente expresión:

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

A los valores obtenidos del IG se les aplicó la transformación arco seno (Sokal & Rohlf 1969). Una vez calculado el promedio y desviación estándar se retransformaron a porcentaje de acuerdo a la Tabla L de Sokal & Rohlf (*op. cit.*).

El segundo, denominado Índice Gonádico Estandarizado (IGE), se determinó mediante la fórmula:

$$IGE = \frac{\text{Peso húmedo de las cinco gónadas}}{\text{Peso húmedo total del ejemplar}} \times 64$$

El IGE estandariza el IG a un tamaño de 64 mm de diámetro de testa, valor que incluye la talla promedio de los erizos negros de Punta Lagunillas de 65,7 ± 5,33 mm y en Bahía La Herradura de 62,1 ± 4,37 mm. Esto con el fin de poder comparar, a través del IGE, el porcentaje de peso corporal desovado por ambas poblaciones para un mismo tamaño.

#### *Estimación del potencial reproductivo de Tetrapygus niger en Punta Lagunillas y Bahía La Herradura*

Dado que la principal época de desove de *T. niger* se correspondió con las fluctuaciones del Índice Gonádico (IG), tanto en la población de Punta Lagunillas como en las de Bahía La Herradura, la variación de este índice repre-

sentó los cambios en el peso gonadal en función a la producción y evacuación de gametos (véanse figuras 3b y 4b, Zamora & Stotz 1993). Este hecho permite estimar el potencial reproductivo de *T. niger*, expresado como porcentaje de peso corporal desovado, mediante la diferencia entre los valores del IG de pre y de postdesove, de acuerdo a los criterios y metodología descritos por Keats *et al.* (1984). La estimación del potencial reproductivo se realizó considerando sólo el desove total de ambas poblaciones.

#### *Estimación de la densidad de Tetrapygus niger*

Se realizó un muestreo en abril de 1989, para determinar la densidad de *T. niger* en Punta Lagunillas y Bahía La Herradura, procediendo de igual manera en ambos lugares. Dos transectos de 10 m de longitud cada uno fueron extendidos en forma paralela y distantes 7 m uno del otro, desde la línea de marea alta al submareal somero (4 m). Seguidamente se recolectaron todos los erizos negros presentes en una cuadrata de 0,25 m<sup>2</sup>, la que fue desplazada cada 50 cm por el centro del transecto, cubriendo en total un área de 10 m<sup>2</sup>. Los ejemplares obtenidos fueron medidos, pesados y sexados, siguiendo el procedimiento descrito por Zamora & Stotz (1993).

#### RESULTADOS

Los erizos negros de Punta Lagunillas presentaron Índices Gonádicos inferiores a los de Bahía La Herradura durante gran parte del año, diferencia acentuada en períodos de madurez gonadal máxima (otoño-invierno) (Tabla 1). De acuerdo a ello, el porcentaje de peso corporal desovado por los erizos negros de Punta Lagunillas fue menor al desovado en Bahía La Herradura (Tabla 2).

La población de erizos negros de Punta Lagunillas, pese a tener una densidad significativamente ( $p < 0,05$ ) menor, presentaron una biomasa considerablemente superior a la población de *T. niger* de Bahía La Herradura. Esto debido a las diferencias en las estructuras de tallas de ambas poblaciones (Fig. 1).

TABLA 1

Comparación anual de los Índices Gonádicos (IG) promedios de poblaciones de *Tetrapygnus niger* en Punta Lagunillas y Bahía La Herradura, IV Región, Coquimbo

Annual comparisson of the average gonad index of populations of *Tetrapygnus niger* from Punta Lagunillas and La Herradura Bay, IV Region, Coquimbo

Mes	Índices Gonádicos <sup>1</sup>			
	Punta Lagunillas		Bahía La Herradura	
	X	(DS)	X	(DS)
Julio	13,4	(5,02)	-	-
Agosto	2,5	(0,90)	-	-
Septiembre	2,0	(1,11)	1,2	(0,81)
Octubre	1,1	(0,90)	0,9	(0,60)
Noviembre	1,1	(0,70)	3,2	(2,22)
Diciembre	1,6	(1,12)	5,4	(2,42)
Enero	5,7	(3,90)	5,2	(3,00)
Febrero	4,8	(3,04)	7,7	(3,30)
Marzo	6,5	(3,62)	10,9	(4,14)
Abril	14,9	(3,60)	8,0	(3,20)
Mayo	11,2	(3,40)	21,9	(3,51)
Junio	16,8	(3,80)	22,4	(3,50)
Julio	15,1	(4,72)	21,2	(4,60)
Agosto	-	-	27,6	(2,80)
Septiembre	-	-	1,3	(0,50)

<sup>1</sup> Calculado en base a la muestra total (N = 30).

Si se supone que el peso corporal desovado mantiene la proporción señalada (Tabla 2), para todo el rango de tallas en erizos sexualmente maduros, es posible inferir la biomasa de gametos evacuados por unidad de área. Al realizar este cálculo, y dadas las diferencias en densidad y biomasa entre los erizos negros de los lugares estudiados, resulta que ambas poblaciones presentaron valores similares, con biomasa de gametos de 249,7 gr/m<sup>2</sup> en Punta Lagunillas y de 236,5 gr/m<sup>2</sup> en Bahía La Herradura.

## DISCUSION

Los datos obtenidos demuestran que las diferencias individuales registradas en el potencial reproductivo de *Tetrapygnus niger* en Punta Lagunillas y Bahía La Herradura (Zamora & Stotz 1993) desaparecen a nivel poblacional, ya que la producción de gametos por unidad de superficie fue similar en ambas localidades.

Esto difiere de lo reportado por Keats *et al.* (1984), quien afirma que la producción de gametos por unidad de área es mayor en erizos que habitan áreas sobrepastoreadas que en huirales de Laminariales, debido a una mayor biomasa de los erizos en tales áreas. Para la población de *T. niger* en Bahía La Herradura, el mayor número de individuos pequeños permite equilibrar la producción de gametos de Punta Lagunillas. Esto evidencia la presencia de mecanismos compensadores en *T. niger*, similares a los descritos en el modelo de producción de cigotos de Levitan (1991) en *Diadema antillarum*. Sin embargo, en el erizo negro se puede suponer que el éxito en la fertilización no varía, pues la densidad de gametos por unidad de superficie permanece relativamente constante, es decir, que la probabilidad de encuentro espermatozoide-óvulo permanece constante. Sin embargo, Levitan (1991) analiza dos poblaciones con densidades marcadamente diferentes (0,2 ind/m<sup>2</sup> y 15 ind/m<sup>2</sup>), en cambio las diferencias en la densidad para las poblaciones de *T. niger* analizadas son mucho menores. Siguiendo el razonamiento de Levitan (1991), a niveles altos de densidad, el mecanismo de compensación ya no ocurriría por cambios en el éxito de fertilización, sino por una estabilización de la producción

TABLA 2

Estimación del porcentaje de peso corporal desovado en poblaciones de *Tetrapygnus niger* en Punta Lagunillas y Bahía La Herradura, IV Región, Coquimbo

Estimation of the proportion of body weight spawned for populations of *Tetrapygnus niger* from Punta Lagunilla and La Herradura Bay, IV Region, Coquimbo

Localidad (Rango de tallas) (mm)	IGE Predesove		IGE Postdesove		Peso corporal desovado (%)
	X	(DE)	X	(DE)	
Punta Lagunillas (54,5-75,5)	16,8	(3,77)	1,0	(0,89)	15,8
Bahía La Herradura (54,5-75,5)	27,6	(2,80)	0,9	(0,59)	26,7

gonadal a nivel poblacional. Esta idea ha sido incorporada con líneas punteadas en el modelo original de Levitan (Fig. 2).

Para la localidad de Punta Lagunillas también existen datos de potencial reproductivo de *Loxechinus albus* (Zamora & Stotz 1992), los cuales muestran que el porcentaje de peso corporal desovado por los erizos negros (15,8%) triplican a los obtenidos por los erizos rojos (4,7%). Del mismo modo, los valores alcanzados por el IG de *T. niger* superan notablemente a los de *L. albus* durante todos los meses del año (Fig. 3), considerando en ambas

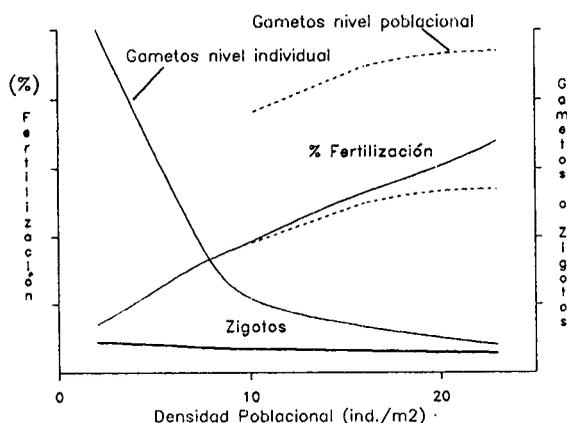


Fig. 2: Modificación al modelo de producción de zigotos de Levitan 1991. Las líneas punteadas representan la modificación propuesta para incorporar en el modelo el mecanismo de compensación descrito para *Tetrapygus niger*.

Modifications to the zygote production model of Levitan 1991. The pointed lines represent the modifications proposed in order to incorporate in the model the compensatory mechanisms described for *Tetrapygus niger*.

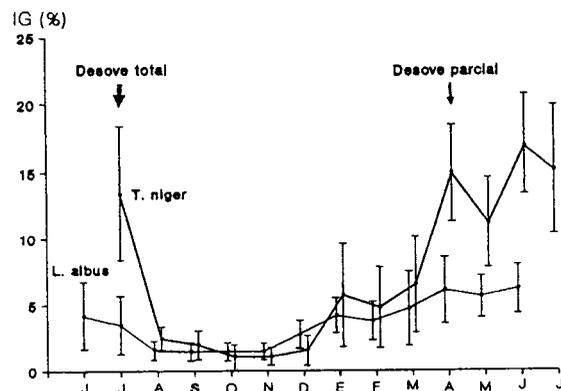


Fig. 3: Variación anual del Índice Gonádico de *Tetrapygus niger* y *Loxechinus albus* en Punta Lagunillas, Coquimbo, Chile.

Annual variation of the Gonad Index of *Tetrapygus niger* and *Loxechinus albus* at Punta Lagunillas, Coquimbo, Chile.

especies ejemplares de tallas similares. Además de *T. niger* estaría facultado al menos potencialmente para realizar desoves parciales (Zamora & Stotz 1993) y dado que los ovocitos maduros en el erizo rojo son algo más grandes (120  $\mu$ m) a los del erizo negro (82  $\mu$ m), podemos inferir una fecundidad mayor en *T. niger*. En términos de la biología reproductiva, *T. niger* aparece como una especie que presenta un mayor potencial reproductivo respecto a *L. albus*.

El alto potencial reproductivo que exhibe *T. niger*, en comparación a *L. albus*, así como la presencia de mecanismos compensatorios que permitirían a esta especie mantener los altos niveles de producción gametogénica a pesar que la variabilidad ambiental produce diferencias a nivel individual, podrían ayudarnos a entender y/o explicar su gran abundancia respecto al erizo rojo.

LITERATURA CITADA

ALFSEN J (1979) Descripción oceanográfica de la Bahía La Herradura de Guayacán. Informe Técnico. Centro de Investigaciones Submarinas. Serie Oceanografía e Ingeniería N° 1. Universidad del Norte, Sede Coquimbo.

ANDREW NL (1986) The interaction between diet and density in influencing reproductive output in the echinoid *Evechinus chloroticus* (Val.). *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 97: 63-79.

BOOLOOTIAN RA (1966) Reproductive physiology. En: Boolootian RA (ed) *Physiology of Echinodermata*: 561-614. Interscience Publishing, New York.

BRISCOE CS (1988) Omnivory in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller) (Echinodermata: Echinoidea); The contribution of mussel versus kelp diets for somatic growth and reproductive effort. Thesis requirements of the Master of Science Degree. Northeastern University Massachusetts.

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.

ERNEST RG & NJ BLAKE (1981) Reproductive patterns within sub-population of *Lytechinus variegatus* (Lamarck) (Echinodermata: Echinoidea). *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 55: 25-37.

KEATS DW, DH STEELE & GR SOUTH (1984) Depth-dependent reproductive output of the green sea urchin, *Stongylocentrotus droebachiensis* (OF Müller), in relation to the nature and availability of food. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 80: 77-91.

LARSON BR, RL VADAS & M KESER (1980) Feeding and nutritional ecology of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* in Maine, USA. *Marine Biology* 59: 49-62.

LEVITAN DR (1991) Influence of body and population density on fertilization success and reproductive output in a free-spawning invertebrates. *Biological Bulletin* 181: 261-268.

- NICHOLS D, GM BISHOP & AT SIME (1983) The effect of depth and exposure on gonad production in the sea urchin *Echinus esculentus* (Echinodermata: Echinoidea) from sites around the English isles. En: Shand J & George JD (eds) Progress in Underwater Science, 8: 61-71.
- NICHOLS D, GM BISHOP & AT SIME (1985) Reproductive and nutritional periodicities in populations of the European sea urchin, *Echinus esculentus* (Echinodermata: Echinoidea) from the English channel. Journal of the Marine Biological Association U.K. 65: 203-220.
- OLIVARES J (1988) Variación temporal de las condiciones oceanográficas de Bahía Herradura de Guayacán (Chile). Biota 4: 89-106.
- PACHECO A & M BERRIOS (1978) Levantamiento batimétrico de precisión de Bahía La Herradura de Guayacán. Informe Técnico. Centro de Investigaciones Submarinas. Serie Oceanografía e Ingeniería, N° 1. Universidad del Norte, sede Coquimbo.
- SASTRY AN (1975) Physiology and ecology of reproduction in marine invertebrates. En: FJ Vernberg (ed). Physiological ecology of estuarine organisms: 279-299. University of South Carolina Press Columbia SC.
- SOKAL RR & FJ ROHLF (1969) Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. H Blume ediciones, España.
- ZAMORA S & W STOTZ (1992) Ciclo reproductivo de *Loxechinus albus* (Molina 1782) (Echinodermata: Echinoidea) en Punta Lagunillas, IV Región, Coquimbo, Chile. Revista Chilena de Historia Natural 65: 121-133.
- ZAMORA S & W STOTZ (1993) Ciclo reproductivo de *Tetrapygus niger* (Molina 1782) (Echinodermata: Echinoidea) en dos localidades de la IV Región, Coquimbo, Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 66: 155-169.