

Producción de larvas y postlarvas del erizo verdiblanco del Caribe *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea) en condiciones de cultivo

Esperanza Buitrago¹ & César Lodeiros Seijo²

1 Departamento de Cultivos, Estación de Investigaciones Marinas, Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Punta de Piedras 6318, Isla de Margarita, Venezuela; ebuitrago@edimar.org

2 Lab. Acuicultura, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná 6101, Venezuela; cesarlodeirosseijo@yahoo.es

Recibido 14-VI-2004. Corregido 09-XII-2004. Aceptado 17-V-2005.

Abstract: Larvae and postlarvae production of the green-white sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea) in culture conditions. We evaluated the biological feasibility of massive larvae and postlarvae production of the Caribbean green-white urchin *Lytechinus variegatus*. Experiments were designed to choose the initial larval density and microalgae diets under culture, to study metamorphosis, postlarval and juvenile growth. Massive production of competent larvae 650 µm long at 12-13 days is possible using larval densities of 0.25 to 1 larva/ml. The microalgae *Rhodomonas* sp. was suitable for the optimization of larval growth and survival. Metamorphosis of 100% of the larvae can be induced with films of bentic diatoms (*Navicula* sp. and *Amphora* sp.), after 96 h; however, diatoms are not adequate for postlarval development and a food supply of *Ulva lactuta* is necessary for proper growth. For juveniles, a diet of macroalgae (*U. lactuta*) and/or commercial marine shrimp culture pellet food is enough for growth, but the best results were obtained with shrimp or *U. lactuta* used alone (85-86%, against 46% with the mixed diet). We recommend future experiments on nutritional requirements to optimize growth of these and subsequent stages. Rev. Biol. Trop. 53(Suppl. 3): 319-328. Epub 2006 Jan 30.

Key words: *Ulva lactuta*, Venezuela, echinopluteus, echinoderms, urchin diets.

El erizo de mar constituye un importante rubro en las pesquerías de diversos países del mundo, sus gónadas son consideradas una exquisitez comparable al caviar y es uno de los productos del mar mejor cotizados con elevada demanda (Keesing y May 1998). Las pesquerías de erizo a nivel mundial alcanzaron una producción total de 60 000 toneladas por año en 1996 con una tendencia a la disminución de las capturas (Hagen 1996). De este modo, ya en muchos países, incluyendo latinoamericanos, se ha llegado a niveles de sobreexplotación, poniendo en peligro el recurso, lo cual ha despertado un interés por desarrollar métodos de cultivo en condiciones controladas (Bustos *et al.* 1991, Grosjean *et al.* 1998, Kelly *et al.* 2000).

El erizo vedeblanco *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) se encuentra ampliamente distribuido en el Atlántico occidental y el Mar Caribe, desde Carolina del Norte (USA) hasta Río Grande del Sur (Brasil) (Moore *et al.* 1963). Si bien la especie no soporta una pesquería organizada, debido a su baja abundancia, es comercializada en algunas zonas del Atlántico; por ejemplo, en el nororiente de Venezuela, en las Islas de Margarita y Coche, donde se explota para aprovechar las gónadas, las cuales se procesan de forma artesanal (Gómez 1999, 2002).

Hinegardner (1969) desarrolló a microescala (en cápsulas de petri), el cultivo larvario de especies de la costa este de Norte América, incluyendo a *L. variegatus*, y consideró que lo

más importante para el desarrollo larvario es la alimentación y el control de la densidad de cultivo. McEdward y Herrera (1999), describieron de forma cuantitativa el desarrollo de larvas de *L. variegatus*, cultivándolas en recipientes de 1.6 l, para ello realizaron medidas de talla, forma y trayectoria del crecimiento del cuerpo y esqueleto de las larvas, proporcionando información sobre la morfometría de los diferentes estadios larvarios. De igual manera, George *et al.* (2001), trabajaron en pequeños volúmenes (3.75 l) con larvas de *L. variegatus* obtenidas a partir de reproductores alimentados con diferentes dietas enriquecidas con vitaminas y carotenos, encontrando que el tamaño de las larvas provenientes de adultos alimentados con dietas carentes de carotenoides representaron la mitad de las obtenidas a partir de adultos alimentados con dietas conteniendo xantofilas, en las cuales la sobrevivencia fue superior.

Algunos estudios muestran que *L. variegatus* presenta una tasa rápida de crecimiento, alcanza entre 40 y 50 mm de diámetro de testa, presentando la madurez sexual en menos de un año (Watts *et al.* 2001) y los adultos son fácilmente mantenidos en sistemas de cultivo consumiendo dietas formuladas (Klinger *et al.* 1994, George *et al.* 2001). Aunque estos trabajos son un aporte importante al conocimiento, poco se ha establecido sobre las técnicas de producción masiva de juveniles en condiciones controladas.

El presente trabajo muestra resultados preliminares de varios experimentos sobre la producción masiva de larvas, dietas microalgales, metamorfosis y crecimiento de postlarvas y juveniles de *L. variegatus*, en función de colaborar con la factibilidad del cultivo de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolecta de organismos, desove y fecundación: Para todos los experimentos, los organismos adultos de *Lytechinus variegatus* se recolectaron mediante buceo libre, durante la época con estado de madurez avanzada. En

la Isla de Margarita, al noreste de Venezuela, donde se realizaron las investigaciones, la mayor actividad reproductiva de *L. variegatus* ocurre durante los meses de diciembre hasta agosto (Gómez 1999). Los erizos se trasladaron en contenedores isotérmicos a temperaturas bajas (5-8°C, por debajo de la temperatura de su ambiente), para no provocar el desove durante el transporte por efecto de aumento de la temperatura. Los organismos se mantuvieron en tanques con agua de mar filtrada hasta 20 µm y con una alimentación “*ad libitum*” con la macroalga *Ulva lactuca*.

Luego de un período de aclimatación de unos cinco a ocho días, la inducción al desove se realizó utilizando el método descrito por Strathmann (1987). El desove se inició con 30 o más organismos adultos, proporcionando mayor posibilidad de mantener la variabilidad genética. Los organismos para la reproducción fueron los de talla grande (55 mm de diámetro de testa y 50 g de peso promedio). La inducción al desove se inició con la inyección de 1-3 ml de una solución 0.5 M de KCl en la cavidad del celoma, a través de la membrana peristomal. Los individuos se colocaron en recipientes separados de 250 ml, para la recolección de los gametos. La fertilización de los óvulos se realizó en un recipiente con 50 l de agua de mar filtrada hasta 1 µm y tratada mediante luz UV, la relación de esperma:óvulo fue de 30:1. En función de estimar la proporción de desoves por sexo, los organismos desovados se identificaron por los productos expulsados y los que no desovaron se les determinó el sexo sacrificándolos y observando al microscopio sus gónadas. El recuento de los huevos y espermatozoides se realizó con la ayuda de un microscopio óptico utilizando una cámara Sedwick y Rafter y un hematocitómetro, respectivamente.

Desarrollo larvario y densidad al inicio del cultivo: Un ensayo sobre la densidad al inicio del cultivo fue llevado a cabo. Las larvas prisma (Fig. 1), las cuales aparecen a las 24 h de la fecundación a una longitud de 287 µm (22.1 SD) se recolectaron con un tamiz de 60 µm, para ser depositadas en 10 l de agua tratada

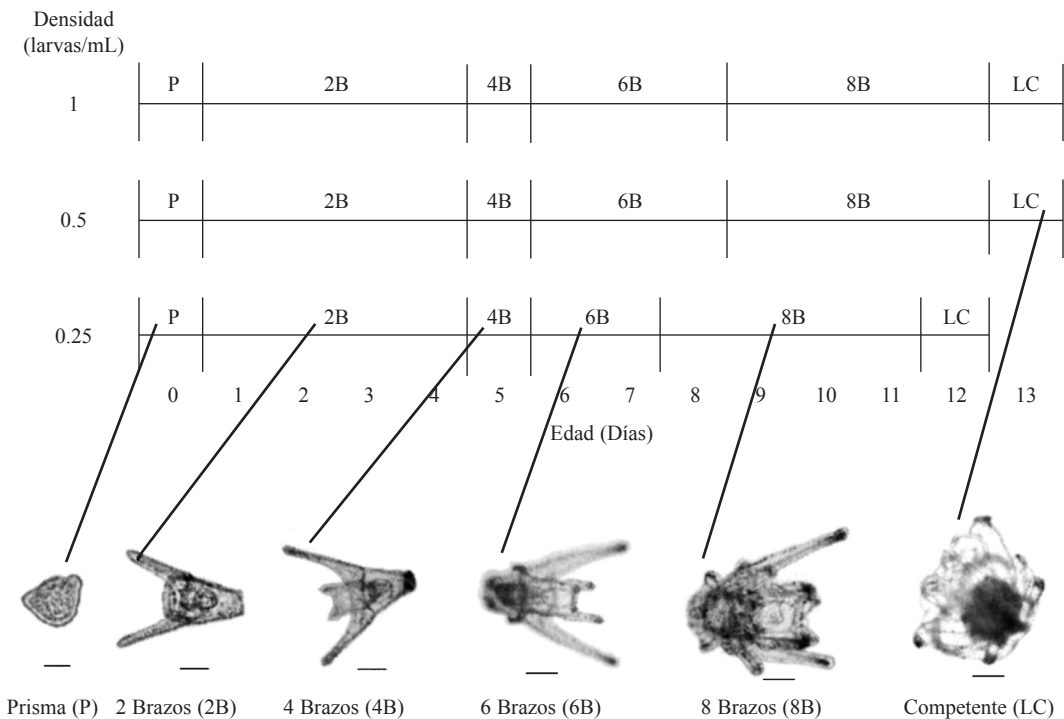


Fig. 1. Estadios predominantes de *Lytechinus variegatus* durante los días del experimento. P= larvas prisma, 2B=larvas con 2 brazos, 4B= larvas con 4 brazos, 8B=larvas con 8 brazos y LC= larvas competentes. La línea inferior en cada uno de los estadios representa una magnitud de 100 µm en una magnificación de 100X.

Fig. 1. Predominant larval stages of *L. variegatus* during the experiment. P= prisma larva, 2B=larva with 2 arms, 4B= larva with 4 arms, 8B=larva with 8 arms and LC= competent larva. The bar in each stage represents 10 µm at 100X of magnification.

bajo las mismas condiciones antes señaladas, y realizar el recuento volumétrico inicial con 5 submuestras de 1 ml en una cámara Sedwick y Rafter bajo el microscopio óptico. El ensayo consistió en siembras iniciales a densidades de 0.25, 0.50 y 1 larvas/ml en tanques de fibra de vidrio cilíndricos con 100 l de agua filtrada hasta 1 µm y y tratada con luz U.V. y aireada suavemente (200-400 ml/min), a una temperatura de $27.5 \pm 0.6^\circ\text{C}$ y alimentadas con *Chaetoceros muelleri* a una densidad de 20 000 cel/ml en estadio prisma y de dos y cuatro brazos, de 40 000 cel/ml a las larvas de seis brazos y de 60 000 cel/ml a las larvas de ocho brazos y larvas competentes (Fig. 1), siguiendo las recomendaciones para *Loxechinus albus* (Bustos y Olave 2001).

Evaluación de dietas de microalgas en las larvas: Larvas en estadio prisma a una densidad de 1 larva/ml se distribuyeron en 20 recipientes de 25 l de capacidad, conteniendo 15 l de agua de mar tratada con filtración a 1 µm y luz UV.

Se eligió, con base en los resultados de Fonseca (2001) con *Strongylocentrotus purpuratus* a las microalgas: *Rhodomonas* sp., *Dunaliella salina* y *Chaetoceros* sp. como dietas monoalgales y la combinación de *Rhodomonas* sp. más *Chaetoceros* sp. y *Dunaliella salina* más *Chaetoceros* sp., como dietas bialgales. Las dietas fueron establecidas según la equivalencia en la masa seca de 8 000 cel/ml de *Rhodomonas* sp. siguiendo las recomendaciones de Fonseca (2001).

Cada tratamiento (dieta) fue realizado por cuadruplicado.

La alimentación se estableció a ración diaria, iniciándose a las 48 horas después de la fecundación, dos días antes de la utilización de sus reservas energéticas, antes de la formación de larvas de cuatro brazos. Los tratamientos se evaluaron al día cinco, 10 y 15, después de la fecundación, mediante la determinación de la sobrevivencia y la masa seca de unas 10 larvas por réplica, después de un tratamiento de 60°C a 48 h.

Inducción a la metamorfosis y crecimiento postlarvario: La inducción a la metamorfosis se consigue con un sustrato con microalgas bentónicas. Para este experimento se comparó la utilización de las microalgas *Navicula* sp., cepa proveniente del Lab. de Acuicultura de la Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile y *Amphora* sp., cepa aislada de un estanque de camarones en Punta de Piedras, Isla de Margarita, Venezuela y pertenecientes a nuestro cepario. El sustrato de fijación utilizado fue botellas plásticas desechables, seccionadas por la mitad (Fig. 2), las cuales se colocaron en un tanque de 300 l con el cultivo unialgal de las diátomeas bentónicas,



Fig. 2. Botellas plásticas seccionadas con biopelícula de microalgas bentónicas para la inducción a la metamorfosis de larvas de *Lytechinus variegatus*.

Fig. 2. Plastic bottles with bentic microalgae biofilms to induce larval metamorphosis in *L. variegatus*.

para así inducir a una biopelícula que sirvió de ambiente de fijación para las larvas de erizos, las cuales fueron incluidas en el tanque a una densidad de 0.5 larvas/ml. El experimento se realizó con dos réplicas. Durante los primeros tres días, se observó larvas premetamórficas, por lo cual se alimentó con *Chaetoceros gracilis* a una concentración de 60 000 cel/ml. La evaluación se determinó haciendo un recuento de larvas en cada una de las réplicas.

El experimento se extendió a 18 días sin adición de alimento extra. Para la evaluación de esta etapa, se determinó la sobrevivencia de las postlarvas en cada una de las réplicas y la longitud y biomasa (60°C/48 h) en 10 postlarvas para cada réplica.

Un experimento adicional fue realizado sembrando 3 400 postlarvas de 1 mm en estanques de 4 000 l, a una densidad de 283 postlarvas/m², adicionando 20% de la biomasa de *U. lactuta*. La evaluación de este experimento fue la determinación de la longitud de 30 postlarvas y la biomasa (60°C/48 h) de 10 postlarvas por réplica a los 10, 23 y 29 días.

Crecimiento de juveniles a diferentes dietas: Se realizó un experimento con juveniles o semilla de 54 días, producidas siguiendo las técnicas antes señaladas, las cuales poseían una longitud de 13±6.9 mm y una biomasa seca de 223.5±0.18 mg. El experimento se estableció en función de evaluar tres dietas compuestas por el alga *U. lactuta*, alimento de camarones peletizado, y la combinación de ambos. Se utilizaron recipientes plásticos de 300 l de capacidad conteniendo 250 l de agua de mar filtrada a 20 µm y 200 individuos de *L. variegatus* para una densidad de 500 indiv/m², realizando recambios diarios del agua en un 50%. El suministro de las dietas fue a razón del 20% con el alga fresca y del 4% con el “pellet” de la biomasa total del tanque, calculada semanalmente. Estas proporciones se eligieron con base en los protocolos estandarizados de alimentación de postlarvas de camarones. Durante 34 días, se determinó tanto la longitud de 30 individuos como la biomasa seca de 10 individuos (60°C/48 h), así como la sobrevivencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desove y fecundación: Con la metodología expuesta se lograron desovar más del 80% de erizos hembras y entre el 40 y 50% de machos. El número de óvulos promedio obtenidos por gramo de hembra fue de $24\,210 \pm 15\,800$ (aproximadamente $1\,100\,000$ huevos por hembra), ocurriendo la fertilización entre el 80 y 95%, comprobada por la observación de la membrana de fecundación a los 5 min después de la mezcla de ovocitos y espermatozoides. Si bien la proporción de la inducción al desove de erizos machos, por las técnicas establecidas, no fue muy elevada (40-50%), la cantidad de espermatozoides producidos fue de $4.3 \times 10^8 \pm 1.8 \times 10^8$ espermatozoides/ml, lo cual cubriría la posible deficiencia referida a los pocos organismos masculinos desovados, para establecer una producción masiva.

Desarrollo larvario y densidad al inicio del cultivo: Nuestros resultados muestran la capacidad de producción masiva de larvas competentes de 12-13 días de *L. variegatus*, a las densidades entre 0.25 y 1 larva/ml, obteniéndose larvas competentes de longitudes de 650 μm (Fig. 1 y 3). Se han realizado estudios de desarrollo larvario de *L. variegatus* pero a menores volúmenes como los de McEdward y Herrera (1999) quienes utilizaron recipientes de 1.6 l bajo una densidad menor (0.19 larvas/ml), en los cuales se obtuvieron larvas competentes en un período menor (9-10 días) a los del presente estudio. De igual manera, las larvas en el presente estudio obtuvieron un incremento en longitud menor a las obtenidas por McEdward y Herrera (1999). Por otra parte, George *et al.* (2001) utilizando jarras de 3.75 l en una densidad larvaria de 0.13 larvas/ml y alimentadas con *Dunaliella tertiolecta* obtuvieron larvas competentes entre los nueve y 13 días, dependiendo de la cantidad de microalgas suministrada. Si bien en estos estudios se obtienen larvas competentes dos días antes que en el nuestro, probablemente debido a la menor densidad de larvas utilizada (dos a ocho veces menores a la del presente estudio), los volúmenes y dichas

densidades no soportarían proyecciones de producción masiva. Esta misma argumentación es válida para estudios en otras especies, las cuales se han cultivado a menores densidades. Así, Cameron y Hinegardner (1974) trabajaron con dos especies de erizos (*Lytechinus pictus* y *Arbacia punctulata*) a densidades larvarias de 0.066 larvas. ml^{-1} , llegando hasta la metamorfosis. De igual manera, Gonzáles *et al.* (1987) cultivaron larvas del erizo rojo chileno *Loxechinus albus* a una densidad de 0.05 larvas. ml^{-1} alimentándolas con diferentes microalgas en recipientes de cultivo de 5 L. No obstante, en esta especie se ha estandarizado la utilización de densidades iniciales de 1.5-1.6 larvas/ml en tanques de 500 l obteniéndose larvas competentes con una sobrevivencia de 40% (Bustos y Olave 2001), la cual es inferior a la de nuestro estudio, donde se obtuvo 70% de sobrevivencia, lo cual, evidentemente, muestra que las larvas de *L. variegatus* son altamente resistentes a las condiciones de cultivo establecidas y conduce a una proyección de factibilidad para la producción masiva de juveniles.

La sobrevivencia no mostró diferencias notables hasta el día cinco, cuando comenzó, para todos los tratamientos, una mayor predominancia de las larvas con cuatro brazos (Fig. 1 y 3), representando este estadio un punto crítico en la condición larvaria, la cual dependería de sus reservas energéticas, ya que es el momento cuando las larvas se presentan con mayor capacidad para alimentarse del ambiente exterior. A tal momento, no existieron diferencias en la longitud del brazo entre tratamientos (Kruskal-Wallis, $p > 0.05$). Ello sugiere que hasta el día cinco ningún efecto externo posee una influencia en las larvas, y dependen principalmente de reservas energéticas, por lo cual no parece necesaria la alimentación. Esta es una ventaja en la producción larvaria ya que minoriza costos de producción, por lo cual se podría sugerir la utilización de altas densidades para los primeros cinco días del desarrollo larvario; sin embargo, debido a que la obtención de larvas competentes a un tiempo menor en la densidad mas baja utilizada (0.25 larva/ml) fue debido a la disminución de tres

a dos días del periodo de larvario correspondiente a los seis brazos (Fig. 1), lo cual se presume que sea por efectos de choques físicos en el desarrollo en niveles larvarios previos, se recomienda disminuir la densidad larvaria en función de minimizar la probabilidad de choque ente larvas, previo el periodo de larvas con cuatro brazos (día 3-4).

Las larvas podrían mantenerse a una densidad de 0.25 o 0.5 larvas/ml, debido a que mostraron dos veces más de masa seca que las larvas mantenidas a 1 larva/ml, al final del experimento (1.19 y 1.13 mg, con respecto a 0.59 mg), lo cual podrá permitir una mayor posibilidad de éxito en la producción masiva de juveniles.

Evaluación de dietas de microalgas en larvas: Las larvas en el tratamiento de la combinación de *Dunaliella salina* y *Chaetoceros*

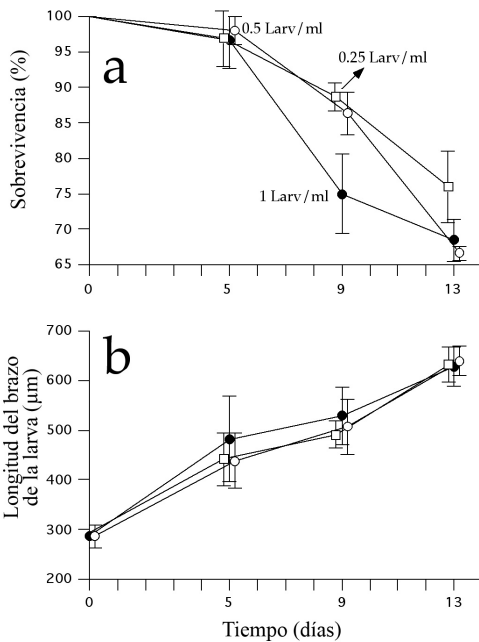


Fig. 3. Supervivencia (a) y longitud total de la larva (b) en el desarrollo larvario de *Lytechinus variegatus* a las densidades de 1, 0.5 y 0.25 larva/mL. Las líneas verticales indican el error estándar.

Fig. 3. Survival (a) and total length (b) during the larval development of *L. variegatus* at 1, 0.5 and 0.25 larva/mL. The vertical bars show the standard error.

sp. no llegaron a sobrevivir al final del experimento. De igual manera, el tratamiento de la dieta monoalgal de *Dunaliella salina* fue la que mostró una significativa (Kruskal-Wallis, comparaciones múltiples, $p < 0.05$) menor supervivencia (9%, Fig. 4). En estos tratamientos, la mortalidad se observó de forma progresiva a partir del día seis de cultivo. Estos resultados muestran que *Dunaliella salina* no es un alga que pueda suplir los requerimientos alimenticios y nutricionales para las larvas de *Lytechinus variegatus*. Contrariamente, el tratamiento con la dieta monoalgal de *Rhodomonas* sp., fue la que produjo la mayor supervivencia (42%), superior a la dieta monoalgal con *Chaetoceros* sp. y su combinación.

Los resultados en los tratamientos con relación a la biomasa producida al final del experimento fue similar al de la supervivencia; siendo la biomasa producida por *Dunaliella*

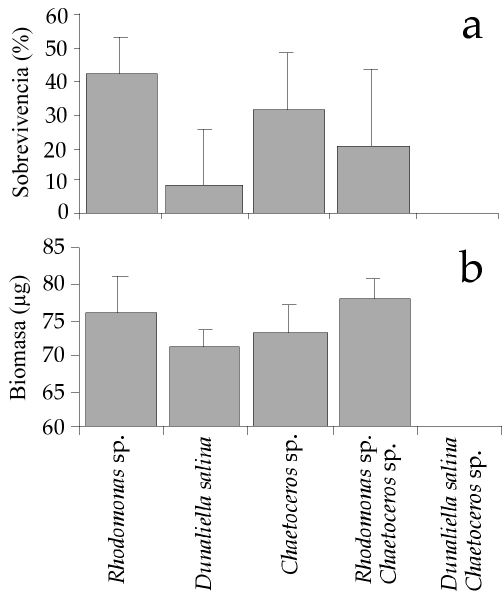


Fig. 4. Supervivencia (a) y biomasa (b) de las larvas de *Lytechinus variegatus* al final del experimento en los distintos tratamientos con las dietas algales. Las líneas verticales indican el error estándar.

Fig. 4. Survival (a) and biomass (b) of *L. variegatus* larvae at the end of the experiment using different microalgal diets. The vertical bars show the standard error.

salina ($71.2 \pm 0.61 \mu\text{g}$) y *Chaetoceros* sp. ($73.2 \pm 4.1 \mu\text{g}$) las que produjeron menor biomasa, aunque significativamente iguales (Kruskal-Wallis, $p > 0.05$) a la producida con las demás dietas ($76-78.5 \mu\text{g}$, Fig. 4).

Inducción a la metamorfosis y crecimiento postlarvario: Los resultados muestran que en tan solo 24 h, después de obtener larvas competentes, se consigue inducir la metamorfosis en más del 75% de las larvas competentes, utilizando las microalgas bentónicas del género *Navicula* y *Amphora* fijadas sobre un sustrato plástico, siendo la última, la que produjo mayor cantidad de larvas metamórficas (90.5% para *Amphora* sp. y 77.8% para *Navicula* sp.); no obstante, a las 96 h, utilizando cualquiera de las microalgas se puede inducir el 100% de la metamorfosis (Fig. 5).

Si bien, no existieron diferencias en la utilización de las cepas de las diatomeas bentónicas para inducir la metamorfosis, produciéndose el 100% de la metamorfosis, lo cual sugiere la utilización de cualquiera de las diatomeas utilizadas como inductoras a la metamorfosis a las 96h; a los subsiguientes 18 días de cultivo, sin alimento adicional, la sobrevivencia fue muy baja, especialmente en las larvas metamorfizadas con *Amphora* sp., las cuales mostraron también una talla menor (Fig.

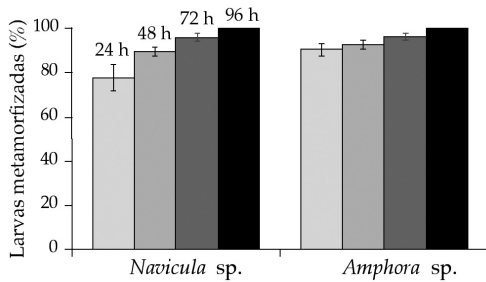


Fig. 5. Porcentaje de larvas metamorfizadas por inducción con las diatomeas bentónicas, *Navicula* sp. y *Amphora* sp., a las 24, 48, 72 y 96 h. Las líneas verticales indican el error estándar.

Fig. 5. Percentage of metamorphosis in *L. variegatus* larvae by induction using the bentic diatoms, *Navicula* sp. and *Amphora* sp., at 24, 48, 72 and 96 h. The vertical bars show the standard error.

6). De igual manera, esto se reflejó en el peso de las postlarvas, las cuales para *Navicula* sp. fueron 60% más pesadas que las de *Amphora* sp. (37.1 y 22.9 mg, respectivamente). Debido a que no se suministró alimento adicional en los 18 días del experimento, las diferencias mostradas probablemente sean debido al suministro de energía de las diatomeas utilizadas y/o del ambiente epífito que ellas puedan generar en el microhabitat, produciendo diferentes biopelículas microbianas, los cuales pueden mostrar diferentes grados de colonización para larvas de invertebrados (Keough y Raimondi 1995, Wiecek y Fletcher 1995). De esta manera, se hace necesario el suministro de alimento en esta etapa, como lo demuestran nuestros resultados en el experimento con alimentación con la alga *U. lactuca*, ya que las postlarvas en un mes incrementan en peso y

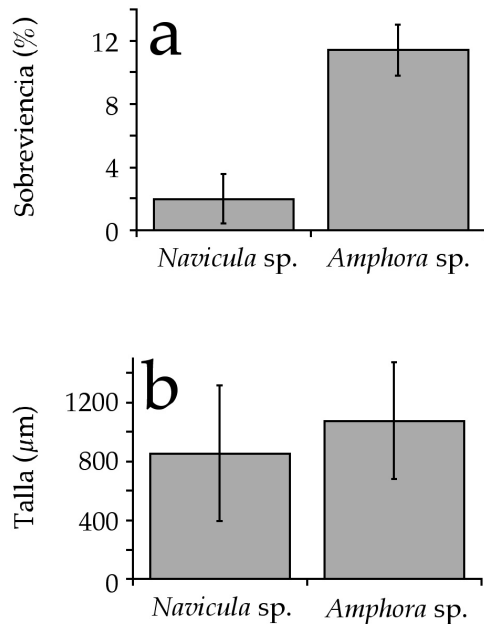


Fig. 6. Sobrevivencia (a) y longitud de la postlarva (b) producida a 18 días de ser metamorfizadas con las diatomeas *Navicula* sp. y *Amphora* sp. y sin alimento adicional. Las líneas verticales indican el error estándar.

Fig. 6. Survival (a) and length (b) of *L. variegatus* postlarvae produced at 18 days before metamorphosis using the diatoms *Navicula* sp. and *Amphora* sp. and without additional food. The vertical bars show the standard error.

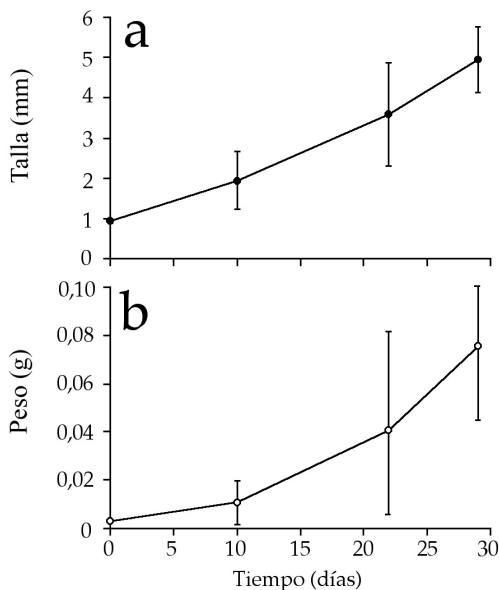


Fig. 7. Crecimiento postlarvario en longitud (a) y biomasa (b) de *Lytechinus variegatus* alimentado con el alga *Ulva lactuca*. Las líneas verticales indican el error estándar.

Fig. 7. Length (a) and biomass (b) growth of *L. variegatus* postlarvae fed with *Ulva lactuca*. The vertical bars show the standard error.

longitud de 3 mg y 1 mm a 75 mg y 5 mm (Fig. 7), con más del 70% de sobrevivencia, adquiriendo una talla que podría considerarse como juvenil o semilla, en función de establecer una tercera etapa de cultivo.

Crecimiento de juveniles con diferentes dietas: Tanto la talla como la biomasa de las larvas en los tres tratamientos tuvieron un incremento acelerado, el cual fue más evidente en los últimos 10 días (Fig. 8). Al final del experimento (35 días) los juveniles alimentados con el peletizado para camarones alcanzaron mayor tamaño, con un promedio de 9.7 mm (SD=4.33) y un peso promedio de 1.8 g (SD= 0.8). No obstante, la sobrevivencia al final del estudio fue mayor en los tratamientos con alimentación con *U. lactuca* y “pellet” (85 y 86%, respectivamente) que con la mezcla de ambos (46%).

Un análisis de la relación longitud-peso de los organismos en las diferentes dietas

CUADRO 1

Relaciones significativas longitud-peso (mm-g) ($p < 0.001$) en las diferentes dietas para las portlarvas de *Lytechinus variegatus*. Datos transformados en $\text{Log}(x)$. Todas las pendientes fueron diferentes según análisis de comparación múltiple de la pendiente ($p < 0.05$)

TABLE 1

Significant ($p < 0.001$) length-weight relationships (mm-g) of the different diets of *L. variegatus* postlarvae. All data was transformed to $\text{Log}(x)$. All slopes differed when compared by slope multiple comparisons analysis ($p < 0.05$)

DIETAS	Relación	R2
Ulva lactuca	Peso= 1.107 Longitud - 0.804	0.99
Pellet	Peso= 1.142 Longitud - 0.826	0.98
Ulva lactuca +Pellet	Peso= 1.195 Longitud - 0.857	0.97

(Cuadro 1) mostró regresiones significativas ($p < 0.0001$) y elevados coeficientes de correlación ($r^2 = 0.98-0.99$). Un análisis de comparación múltiple de las pendientes muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las curvas, determinando mayor crecimiento en los erizos alimentados con piensos para camarones (“pellets”), seguido con los alimentados con “pellets” y *U. lactuca*. Estos estudios muestran la posibilidad de alimentación de erizos con peletizados.

Nuestros resultados muestran la factibilidad de producción masiva de juveniles *L. variegatus*, por lo que evidentemente se deben iniciar los estudios para la subsiguiente etapa de crecimiento hasta engorde final, aquí estudios nutricionales para establecer la dieta en equilibrio para el desarrollo de organismos y principalmente la formación de gónadas sería el punto de atención principal. No obstante, estudios de la optimización de técnicas para la inducción al desove con estudios sobre el acondicionamiento reproductivo, son recomendados. Estos últimos deben realizarse en función de obtener mejor calidad de larvas, además de controlar la reproducción a lo largo del año, contemplando la utilización de dietas específicas para el desarrollo gonádico

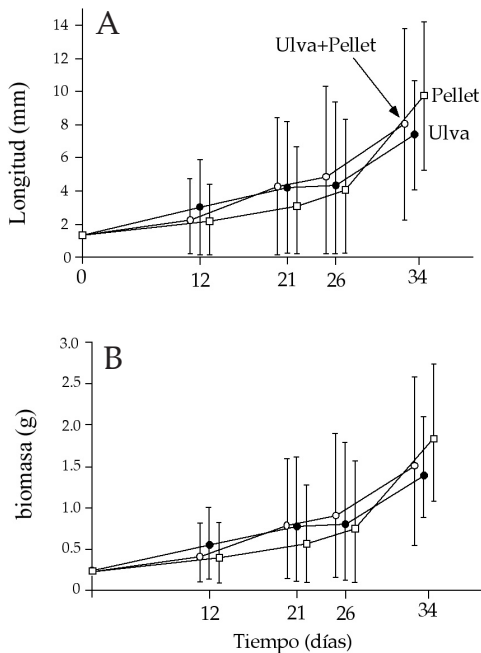


Fig. 8. Crecimiento de juveniles en longitud (a) y biomasa (b) de *Lytechinus variegatus* alimentado con el alga *Ulva lactuca* (Ulva), peletizado utilizado para la alimentación de camarones marinos (Pellet) y mezcla de ambos (Ulva+Pellet). Las líneas verticales indican el error estándar.

Fig. 8. Growth (a) and biomass (b) of *L. variegatus* juveniles fed with *Ulva lactuca* (Ulva), pellets used for marine shrimp culture (Pellets) and the combination (Ulva+Pellets). The vertical lines show the standard error to average.

y procesos fisiológicos que acontecen en la gametogénesis. Según varios estudios (George *et al.* 2001, Lawrence *et al.* 2002), la incorporación de dietas con altos contenidos de carotenoides favorece una mayor calidad de la gónada y tiene un efecto benéfico en la producción posterior de larvas y juveniles, por lo que la verificación de estos hallazgos en la producción masiva de larvas es recomendable.

Aunque las producciones de larvas a las densidades utilizadas se muestran como satisfactorias, es necesario la optimización del desarrollo larvario, no solo seleccionando la mejor dieta para cada una de las etapas larvarias, sino determinando el ambiente óptimo para el desarrollo larvario, de esta manera investigaciones

sometiendo a las larvas a varias magnitudes de factores ambientales, principalmente temperatura y salinidad son necesarios. Estos estudios son también necesarios en la inducción a la metamorfosis, los cuales también podrían ser acompañados con la posibilidad de utilizar ciertas sustancias inductoras, tal como se ha realizado utilizando KCl como inductor de la metamorfosis en *Stroglyocentrotus purpuratus*, *S. franciscanus* y *L. pictus* (Carpizo-Ituarte *et al.* 2002). No obstante, las investigaciones de factibilidad biológica deben ser acompañados, indudablemente por un estudio de factibilidad económica, el cual dará la pauta del desarrollo o no del cultivo de la especie.

AGRADECIMIENTOS

Los experimentos fueron financiados por la Estación de Investigaciones Marinas de Margarita, EDIMAR, de La Fundación La Salle. Se agradece la ayuda técnica de Karem Lunar, Zoila Vazquez, Khenia Frontado y Federico Indorf.

RESUMEN

Se evaluó la factibilidad biológica en la producción masiva de larvas, postlarvas y juveniles del erizo verdiblanco *Lytechinus variegatus* del Caribe. Los experimentos dirigidos a escoger la densidad larvaria inicial y las dietas de microalgas para el cultivo, así como determinar la metamorfosis y el crecimiento postlarvario. La producción masiva de larvas competentes con una longitud de 650 μm a los 12-13 días es posible utilizando densidades de 0.25 a 1 larva/ml. La utilización de la microalga *Rhodomonas* sp. se muestra como conveniente para optimizar el crecimiento y la sobrevivencia larvaria. La metamorfosis se puede inducir con películas de diatomeas bentónicas (*Navicula* sp. y *Amphora* sp.) en un 100% a la 96 h; no obstante, éstas no son suficientes para un buen desarrollo postlarvario y el suplemento de alimento con macroalgas (*Ulva lactuca*) es necesario para mantener un crecimiento sostenido después de la metamorfosis. Alimentos elaborados con *U. lactuca* y/o peletizado usado como alimento para camarones marinos, generan crecimiento en juveniles; no obstante, la dieta del peletizado y la de *U. lactuca* producen mayor sobrevivencia, 85-86% en comparación con la dieta combinada (46%). Se recomienda realizar estudios de optimización del cultivo en las etapas analizadas y estudios en las subsiguientes etapas de crecimiento.

Palabras claves: *Ulva lactuca*, Venezuela, equinopluteus, equinodermos, dieta de erizos.

REFERENCIAS

- Bustos, E. & S. Olave. 2001. Manual: El cultivo del erizo *Loxechinus albus*. División de Acuicultura, Instituto de Fomento Pesquero. 23 p.
- Bustos, E., C. Godoy, S. Olave & R. Troncoso. 1991. Desarrollo de técnicas de producción de semillas y repoblación de recursos bentónicos. Instituto de Fomento Pesquero. PNUD. Chile, 60 p.
- Cameron, R.A. & R.T. Hinegardner. 1974. Initiation of metamorphosis in laboratory cultured sea urchins. Biol. Bull. 146 : 335-342.
- Carpizo-Ituarte, E., A. Salas-Garza & G. Pares-Sierra. 2002. Inducción de la metamorfosis con KCl en tres especies de erizos de mar y sus implicaciones en la producción de juveniles. Cienc. Mar. 28:157-166.
- Fonseca, J. 2001. Efecto de seis dietas microalgales en el desarrollo larvario, metamorfosis y obtención de juveniles del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México. 83 p.
- George, S. B., J.M. Lawrence, A.L. Lawrence, J. Smiley & L. Plank. 2001. Carotenoids in the adult diet enhance egg and juvenile production in the sea urchin *Lytechinus variegatus*. Aquaculture 199: 353-369.
- Gómez, A. 1999. Los recursos marinos renovables del Estado Nueva Esparta, Venezuela: Biología y pesca de las especies comerciales. Tomo I Invertebrados y algas. 208 p.
- Gómez, A. 2002. Abundancia de erizo *Lytechinus variegatus* (Lamarck) en la costa norte, este y oeste de la Isla de Margarita (Venezuela). Acta Científica Venezolana 53: 15-20.
- González, L. P., J.C. Castilla & C. Guisado. 1987. Effect of larval diet and rearing temperature on metamorphosis and juvenile survival of the edible sea urchin *Loxechinus albus* (Molina, 1782) (Echinoidea: Echinidae). J. Shellfish Res. 6: 109-115.
- Grosjean, P., C. Spirlet, P. Gosselin, D. Vaitilingon, & M. Jangoux. 1998. Land-based, closed-cycle echinoculture of *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinoidea: Echinodermata): A long-term experiment at pilot scale. J. Shellfish Res. 17: 1523-1531.
- Strathmann, M.F. 1987. Reproduction and development of marine invertebrates of the northern Pacific coast. University of Washington Press. Seattle, Washington. 670 p.
- Hagen, N.T. 1996. Echinoculture: from fishery enhancement to closed cycle cultivation. World Aquaculture 27: 7-19.
- Hinegardner, R.T. 1969. Growth and development of laboratory sea urchin. Biol. Bull. 137: 465 - 475.
- Keesing, J. & K.C. Hall. 1998. Review of harvests and status of world sea urchin fisheries points to opportunities for aquaculture. J. Shellfish Res. 17: 1597-1604.
- Kelly, M.S., A.J. Hunter, C.L. Scholfield & J.D. Mckenzie. 2000. Morphology and survivorship of larval *Psammechinus miliaris* (Gmelin) (Echinodermata: Echinoidea) in response to varying food quantity and quality. Aquaculture 183: 223-240.
- Keough, M.J. & P.T. Raimondi. 1995. Response of settling invertebrate larvae to bioorganic film: effects of different types of films. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 185: 235-253.
- Klinger, T., J. Lawrence & A. Lawrence. 1994. Digestive characteristics of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Lamarck) (Echinodermata: Echinoidea) fed prepared feeds. J. World Aquacul. Soc. 25: 489-496.
- Lawrence, J.M., R. Plank & I. Lawrence. 2002. The effect of dietary carotenoids on gonad production and carotenoid profiles in the sea urchin *Lytechinus variegatus*. J. World Aquacul. Soc. 33: 127-137.
- McEdward, L. & J. Herrera. 1999. Body form and skeletal morphometrics during larval development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* Lamarck. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 232: 151-176.
- Moore, H.B., T. Jutare, J.C. Bauer & J.A. Jones. 1963. The Biology of *Lytechinus variegatus* Bull. Mar. Sci. Gulf and Caribbean 13: 23-53.
- Strathmann, M.F. 1987. "Phylum Echinodermata, class Echinoidea" In: Reproduction and development of marine invertebrates of the northern Pacific coast. University of Washington Press. Seattle, Washington. 670 p.
- Watts, S.A., M.S. Vickery, M. Becerro, B.D. Wallace & J.M. Lawrence. 2001. Problems associated with settlement, metamorphosis and post-metamorphic growth of *Lytechinus variegatus* in culture. Aquaculture-2001. World Aquaculture Society University Baton Rouge LA-USA. 127 p.
- Wienczek, R.M. & M. Fletcher. 1995. Bacterial adhesion to hydroxyl- and methyl-terminated alkanethiol self-assembled monolayers. J. Bacteriol. 177: 1959-1966.