

ERIZOS DE MAR COMO CONTROL BIOLÓGICO DEL “*FOULING*” EN UN CULTIVO DE *NODIPECTEN NODOSUS* EN EL ÁREA DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO*

Camilo Cortés-Useche¹, J. Gómez-León² y Marisol Santos-Acevedo²

¹ Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Programa de Biología Marina, Carrera 2 No. 11-68, El Rodadero, Santa Marta, Colombia. camilorv@hotmail.com

² Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”-INVEMAR, Línea de Bioprospección Marina, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. A.A 1016. jgomezleon@invemar.org.co (J.G.L.), msantos@invemar.org.co (M.S.A.)

RESUMEN

Se evaluó la efectividad de los erizos de mar *Echinometra lucunter* y *Lytechinus variegatus* como controladores biológicos del “fouling” en un cultivo piloto del pectínido *Nodipecten nodosus* en la bahía de Nenguange, Santa Marta, Caribe colombiano; para lo cual se utilizaron animales con tallas promedio de 50 y 55 mm respectivamente. Fueron establecidos cinco tratamientos: 1) y 2) Dos y cuatro individuos de *E. lucunter* por piso de mini-linterna; 3) y 4) Dos y cuatro individuos de *L. variegatus* por piso de mini-linterna y 5) Control sin erizos. Los pectínidos utilizados fueron obtenidos del medio natural mediante colectores artificiales instalados en la estación de cultivo, con una talla promedio de 80 mm. Los resultados mostraron que la densidad de 4 ind/piso redujo efectivamente el “fouling” y permitió tener condiciones óptimas de cultivo para los organismos, y que a su vez los erizos de mar *L. variegatus* presentaron los valores de disminución más altos (68 y 55 % en las artes de cultivo y valvas, respectivamente) evidenciado en un aumento de talla y mayor supervivencia de *N. nodosus*. Así mismo, se identificaron un total de 25 organismos asociados al “fouling” de las redes y valvas de *N. nodosus*, correspondientes a siete grupos taxonómicos: Chlorophyta (1), Porifera (2), Mollusca (8), Annelida (3), Arthropoda (8), Bryozoa (1) y Pisces (2).

PALABRAS CLAVE: “Fouling”, Cultivo de bivalvos, Pectínidos, *Nodipecten nodosus*, Erizos de mar.

ABSTRACT

Sea urchins as biological control of “fouling” in a culture of *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) in the Santa Marta area, Colombian Caribbean. We evaluated the effectiveness of sea urchins *Lytechinus variegatus* and *Echinometra lucunter* as biological controllers of “fouling” in culture of *Nodipecten nodosus* in Nenguange Bay, Santa Marta, Colombian Caribbean, collecting specimens with average sizes of 50 and 55 mm. Five treatments were established: 1) and 2) two and four individuals of *E. lucunter* per floor of pearl net; 3) and 4) two and four individuals of *L. variegatus* per

* Contribución No. 1083 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR.

floor of pearl net and 5) Control (without sea urchins). The scallops used in the study corresponded to the animals captured through artificial collectors installed in the station, with average sizes of 80 mm. The results showed a significant decrease in the following by sea urchins, but *L. variegatus* presented the highest reduction values (68 and 55 % on the pearl nets and valves, respectively) showing an increase in size and an increase in survival of *N. nodosus*. We identified a total of 25 individuals associated with the pearl nets and valves of *N. nodosus*, corresponding to seven taxonomic groups: Chlorophyta (1), Porifera (2), Mollusca (8), Annelida (3), Arthropoda (8), Bryozoa (1), and Pisces (2).

KEYWORDS: "Fouling", Shellfish aquaculture, Scallops, *Nodipecten nodosus*, Sea urchins.

INTRODUCCIÓN

Según FAO (2003) y Helm *et al.* (2006), la producción acuícola de peces, moluscos y crustáceos a nivel mundial ha presentado un incremento del 50.4 % en la última década, superando lo registrado por los desembarques de estos grupos de organismos provenientes de la pesca durante este mismo período. Uno de los grupos más cultivados y responsable en parte del acelerado crecimiento de la acuicultura son los bivalvos, que ocupan en la actualidad el segundo lugar de importancia en producción después de los peces, en especial aquellos bivalvos de origen marino como los pectínidos.

Sin embargo, en todo proceso de cultivo de bivalvos marinos existen factores externos que afectan la producción, como la presencia del "fouling", término considerado como el conjunto de organismos acuáticos que se adhieren y crecen sobre objetos inertes sumergidos, lo que conlleva a un deterioro progresivo de las artes de cultivo, menor disponibilidad de alimento para los bivalvos cultivados al colmatarse las mallas de los sistemas, mayor presencia de organismos (algunos depredadores: cangrejos, gasterópodos) que entran en fase larvaria y crecen dentro del arte de cultivo, y por ende disminución de la supervivencia de los animales (Lodeiros y García, 2004).

Las técnicas actuales de prevención y eliminación del "fouling" se reducen a la aplicación de pinturas tóxicas (CRAB, 2006), como también a la emersión periódica de las artes de cultivo o la práctica de diferentes procesos de lavado (agua a presión, raspado, lejía y otros) (Pacheco y Garate, 2005). Estos procesos implican un alto costo en tiempo y personal que disminuyen la rentabilidad de esta actividad acuícola (Portillo, 2002) e impactan negativamente el ambiente. Es por esto que se han propuesto una serie de estrategias promisorias con un interés generalizado en forjar conocimientos que mejoren el manejo del "fouling" (CRAB, 2006). Entre las estrategias de solución se ha planteado la utilización de controladores biológicos de los cuales los caracoles (*Littorina littorea*) han mostrado que controlan el "biofouling" de los sistemas de cultivo de ostras, mejorando las tasas de crecimiento

hasta en un 30 % (CRAB, 2006). También el molusco gasterópodo *Nucella lapillus* ha sido utilizado en el cultivo intermedio de la viera *Pecten maximus* y la ostra *Ostrea edulis* en bahía Mulroy (Irlanda) reduciendo la presencia del mejillón *Mytilus edulis* y por consiguiente aumentando la supervivencia ≤ 3 % en los bivalvos (Minchin y Duggan, 1989).

Algunos estudios realizados por Watson *et al.* (2005) en el suroeste de Irlanda identificaron una gran cantidad de pastoreadores asociados al cultivo de bivalvos. Estos autores estudiaron en particular al caracol gasterópodo *Monodonta lineata* y al erizo *Paracentrotus lividus*, los cuales fueron incorporados dentro de artes cultivo de vieiras manejando tres diferentes densidades (2, 5 y 10 individuos por estructura) obteniendo que los erizos en bajas densidades (dos animales por bandeja) fueron más eficientes en la remoción del "fouling" que los gasterópodos.

Los erizos de mar han sido satisfactoriamente utilizados como controladores del "fouling", tanto sobre la infraestructura como en las conchas de bivalvos en cultivos suspendidos. Algunos estudios (Carver *et al.*, 2003; Willemsen, 2005; CRAB, 2006) han registrado hasta un 74 % en la reducción del "fouling" en las infraestructuras y un 71 % en las conchas de los bivalvos (incluyendo la reducción de cirripedios y gusanos tubícolas). Estudios realizados en la isla de Man (Reino Unido) con los erizos *Echinus esculentus* y *Psammechinus miliaris*, como biocontroladores en el cultivo de *Pecten maximus*, mencionan que los erizos lograron reducir (≥ 50 %) el "fouling" tanto en estructuras de cultivo como en valvas de los animales, resultando muy satisfactorios para el cultivo (Ross *et al.*, 2004).

Otro trabajo destacado fue el realizado en el Caribe venezolano por Lodeiros y García (2004), quienes utilizaron como organismos controladores a erizos *Lytechinus variegatus* y *Echinometra lucunter* para reducir el "fouling" del sistema de cultivo y sobre las valvas de *Pinctada imbricata*, obteniendo una disminución, principalmente con *L. variegatus* del 74 % tanto en artes de cultivo como en la especie cultivable, y menor con *E. lucunter* (45 %).

Estos estudios señalan los beneficios de la reducción del "fouling" de los sistemas y artes de cultivo, así como sobre los bivalvos, conllevando un aumento de crecimiento, calidad y supervivencia de las especies cultivadas, beneficios que pueden ayudar a reducir el tiempo de cultivo, moderando así los costos de producción; sin embargo, estos trabajos son el resultado de observaciones experimentales, faltando mucho por descubrir para aplicarlo a gran escala (CRAB, 2006). El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de los erizos de mar *Echinometra lucunter* y *Lytechinus variegatus* en el control y reducción del "fouling" en un cultivo experimental de bivalvos marinos.

ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se llevó a cabo en la bahía de Nenguange, Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT; 11°20'N, 74°10' W), la cual está ubicada sobre la costa al nororiente de la ciudad de Santa Marta en el Caribe colombiano. Es una de las bahías con mayor diversidad biológica comparada con las otras del Parque, producto de la influencia directa que tiene de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, además es la más grande del PNNT (Garzón y Cano, 1991). Se caracteriza por albergar una formación arrecifal somera dispuesta en parches, donde suelen desarrollarse formaciones coralinas aisladas, dominadas por lagunas y una cresta que actúa como barrera en contra del oleaje (Díaz *et al.*, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio abarcó dos periodos: 1) Entre diciembre de 2008 y marzo de 2009 (ensayos preliminares) y 2) abril a julio de 2009. Para cada periodo los erizos *E. lucunter* (50 mm) y *L. variegatus* (55 mm) fueron colectados en el área de estudio mediante buceo autónomo. Los pectínidos utilizados fueron animales colectados en ambiente natural (colectores artificiales) mantenidos en Nenguange en sistemas de cultivo (linternas) con una longitud promedio de 80 mm. Las valvas de los mismos fueron revisadas minuciosamente tanto externa como internamente, con el fin de reconocer y seleccionar los animales que no presentaran signos de estrés o invasión (Lodeiros y García, 2004).

Los experimentos fueron diseñados para evaluar la abundancia del “fouling” en presencia o ausencia de erizos. Como unidad experimental se tomaron las mini-linternas elaboradas a partir de una linterna tradicional (10 pisos). Se construyeron únicamente tres pisos con alambre galvanizado forrado con plástico y con una dimensión de 40 cm de diámetro, cuya área de fondo fue de 1257 cm², separados verticalmente a 20 cm y forradas con malla de “nylon” de color negro de 1 cm de ojo de luz. Se realizaron tres réplicas por tratamiento, de acuerdo con la disponibilidad de pectínidos mantenidos en cultivo. Se consideraron dos factores: (1) Especie de erizo y (2) Densidad de siembra de erizos. Se establecieron cinco tratamientos; (1) y (2) *E. lucunter* con una densidad de dos y cuatro individuos por piso de mini-linterna, (3) y (4) *L. variegatus* con una densidad de dos y cuatro individuos por piso de mini-linterna y (5) Control (sin erizos) (Figura 1). La densidad de cultivo de los pectínidos fue de 30 % de cobertura del área del piso de la mini-linterna.

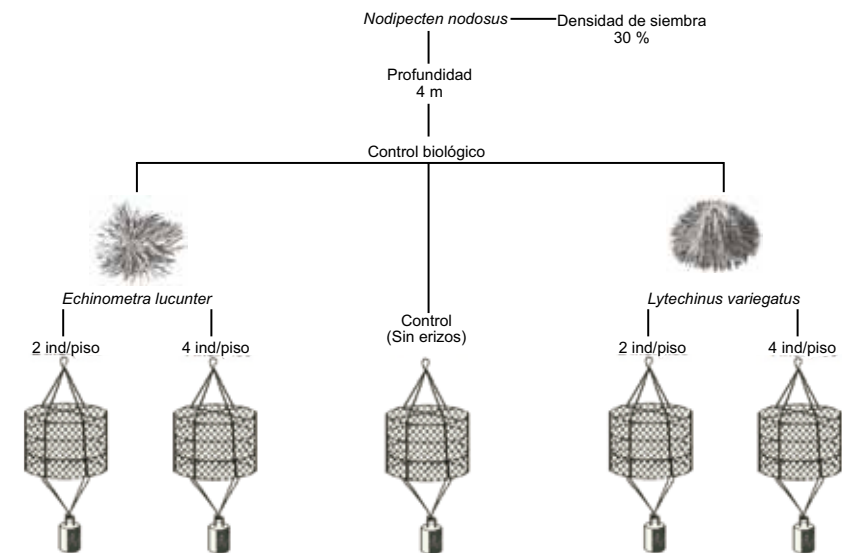


Figura 1. Diseño experimental del control biológico del “fouling”, durante el cultivo suspendido de *Nodipecten nodosus* en la región de Santa Marta, Caribe colombiano.

Para evaluar la efectividad de los erizos se obtuvo el peso total del “fouling”, pesando con una balanza las linternas antes y después (peso seco) de ser sumergidas en el agua de mar (linternas limpias y biocolonizadas). Las artes de cultivo se suspendieron a una profundidad de 4 m por un periodo de 50 días. Se registró la talla (longitud antero-posterior) de los pectínidos, el diámetro de la testa de los erizos y el peso húmedo (g) al inicio y al final del experimento, y se determinó la supervivencia. Por último, se colectaron los organismos asociados a las mini-linternas y a las valvas de *N. nodosus* para su fijación (formalina al 10 % en agua de mar) y posterior identificación en el laboratorio.

La información se registró en campo y posteriormente se organizó en matrices de datos en hojas de cálculo del programa Microsoft Excel para su análisis estadístico. Se realizaron cálculos con estadística descriptiva simple para los datos del peso de las mini-linternas. Con las matrices del incremento en peso y talla de los pectínidos se probó la distribución normal de los datos con la prueba de Shapiro-Wilks ($P \geq 0.05$) (Patrick, 1982), así como la homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett ($P \geq 0.05$) (Correa *et al.*, 2006). Para comparar los tratamientos se realizaron pruebas de análisis de varianza (ANOVA) a una vía con su posterior “test” de comparación múltiple. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el paquete tecnológico Statgraphics Plus 5.0 y para todas las pruebas se utilizó un nivel de significancia de 0.05 (Zar, 1984).

RESULTADOS

“Fouling” en las artes de cultivo (mini-linternas)

La proliferación de epibiontes y la incrustación de materia orgánica disuelta en las artes de cultivo se observó en las caras superior e inferior y en las paredes de las mini-linternas (Figura 2). Los tratamientos con erizos mostraron una reducción en la cobertura del “fouling”, observando mayor disminución en las mini-linternas que contenían mayor densidad de erizos. *L. variegatus* presentó mayor efectividad en el control biológico del “fouling”, ya que su acción se desarrolló de manera homogénea en las paredes de la mini-linterna (Figura 3a), en comparación con *E. lucunter* el cual actuó de manera más sectorizada en la red, en forma de parches (Figura 3b).

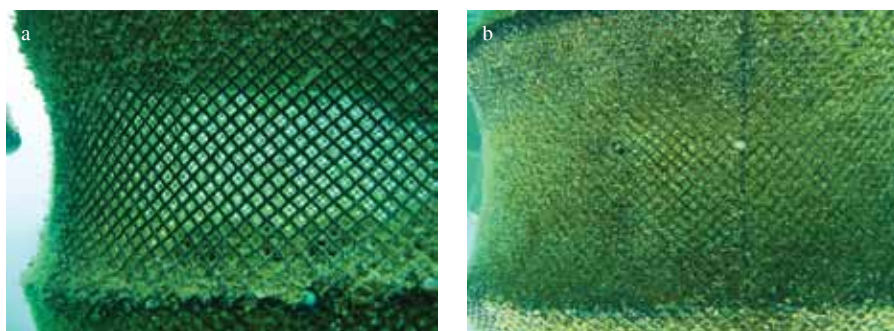


Figura 2. Cobertura del “fouling” en la red. (a) Tratamiento con erizos y (b) Sin erizos.

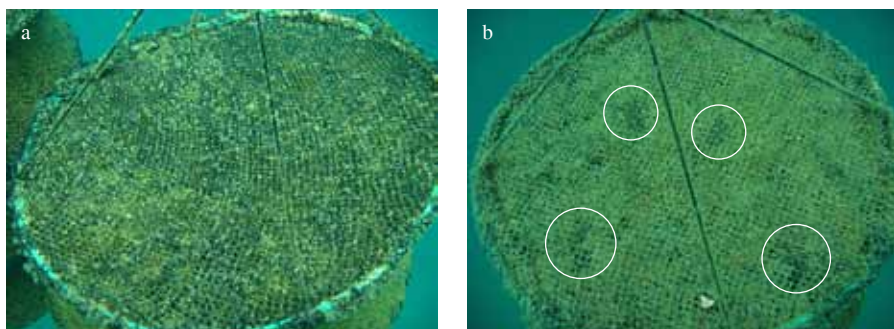


Figura 3. Tratamiento con *Lytechinus variegatus* (a) y con *Echinometra lucunter* (b). Los círculos indican la “acción” para el control del “fouling”.

El incremento del peso seco en las artes de cultivo mostró el menor valor en los tratamientos con *L. variegatus*: 197 y 195 g, 2 y 4 ind/piso, respectivamente (ANOVA, $P \leq 0.05$), mientras que con *E. lucunter* aumentó 323 g (2 ind/piso) y

298 g (4 ind/ piso) y los mayores incrementos se encontraron en los tratamientos sin erizos donde la ganancia en peso fue de 417 g durante el primer periodo (Figura 4). En el segundo periodo las mini-linternas que contenían 2 y 4 ind/piso de *L. variegatus* (ANOVA, $P \leq 0.05$) registraron el menor peso seco 153 y 96 g respectivamente; seguidas de las mini-linternas con presencia de *E. lucunter*, con 247 y 147 g, para 2 y 4 ind/ piso, y por último el control, con 287 g (Figura 4).

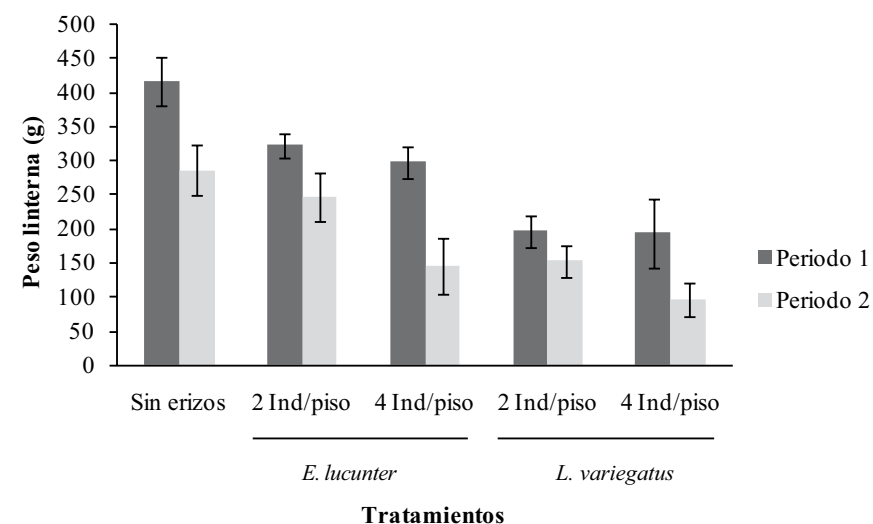


Figura 4. Incremento del peso en seco (g) causado por el “fouling” en las mini-linternas en los *Nodipecten nodosus* en los diferentes tratamientos y periodos de estudio (la barra indica el error estándar).

“Fouling” sobre las valvas de *N. nodosus*

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la evaluación del “fouling” sobre las valvas de los pectínidos, en presencia y ausencia de erizos (ANOVA, $P \leq 0.01$). Los valores más bajos de colonización (3.66 y 9.66 g para 4 y 2 ind/ piso) se presentaron en el tratamiento con *L. variegatus*, en comparación con *E. lucunter* que fue de 13.31 y 14.53 g para 4 y 2 ind/piso, y el control (sin erizos) con 15.25 g (Figura 5). Sin embargo, sólo el tratamiento con *L. variegatus* (4 ind/ piso) mostró mayor control biológico del “fouling” sobre las valvas de los pectínidos (Duncan, $P \geq 0.05$). También, en el primer periodo se registraron valores similares, observando diferencias significativas entre los tratamientos con y sin erizos (ANOVA, $P \leq 0.01$), donde *L. variegatus* presentó los mejores resultados contra los epibiontes (2.09 y 7.87 g para 4 y 2 ind/piso) (Duncan, $P \geq 0.05$), mientras con *E. lucunter* el peso de las redes se incrementó (11.64 y 13.38 g para 4 y 2 ind/ piso), y el control (sin erizos) fue el valor más alto con 22.93 g (Figura 5).

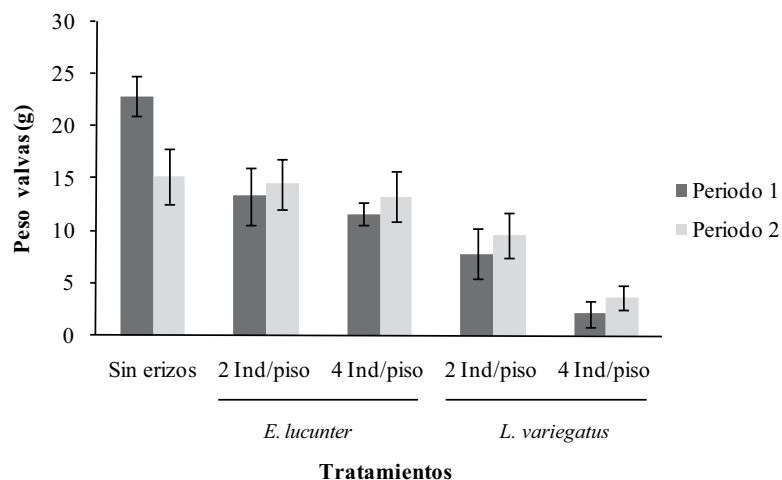


Figura 5. Incremento del peso húmedo (g) causado por el “fouling” sobre las valvas de *Nodipecten nodosus* en los diferentes tratamientos y periodos de estudio (la barra indica el error estándar).

Supervivencia y crecimiento de los bivalvos y erizos de mar

El crecimiento de *N. nodosus* mostró diferencias significativas entre los tratamientos en los dos periodos (ANOVA, $P \leq 0.01$), siendo el periodo dos en presencia de *L. variegatus* el de mayor crecimiento [7.25 (4 ind/piso)] y 5.22 mm (2 ind/piso) y con *E. lucunter* presentando un aumento de 2.48 y 2.77 mm con 4 y 2 ind/piso, y sin erizos con 2.33 mm (Figura 6).

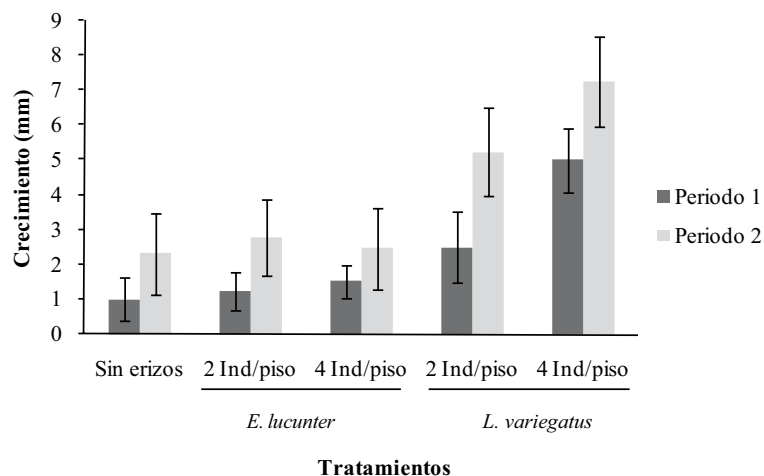


Figura 6. Incremento de la longitud (mm) causado por el “fouling” sobre las valvas de *Nodipecten nodosus* en los diferentes tratamientos y periodos de estudio (la barra indica el error estándar).

La mayor supervivencia de pectínidos durante el primer periodo se observó en los ensayos con *L. variegatus* (88.83 y 77.78 %; densidad de 4 y 2 ind/piso); con *E. lucunter* fue de 74 % en ambas densidades, y el 66.69 % para el control. En el segundo periodo la supervivencia en todos los ensayos fue más alta principalmente con *L. variegatus* (96.26 y 92.53 %, densidad de 4 y 2 ind/piso); sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA, $P \geq 0.05$), en ninguno de los periodos.

En cuanto al crecimiento de los erizos (diámetro de la testa), en el primer periodo para *E. lucunter* y *L. variegatus* fue de 6.7 mm y 4.9 mm y para el segundo de 11.6 y 10.5 mm respectivamente (Figura 7). En cuanto al peso húmedo el primer periodo aumentó en 2.5 y 1.8 g para *E. lucunter* y *L. variegatus* respectivamente, mientras que en el dos el incremento fue mayor 4.7 y 2.8 g (Figura 8).

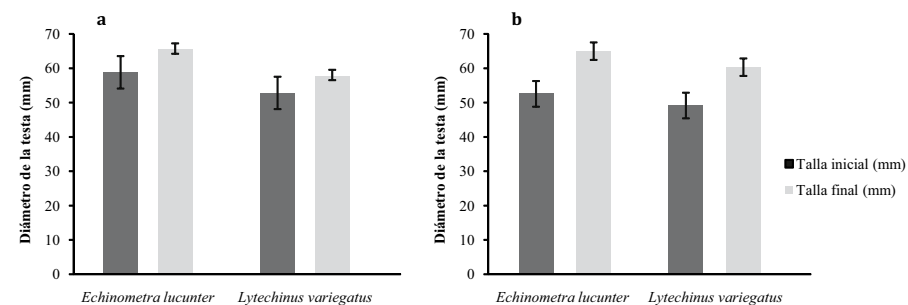


Figura 7. Incremento del diámetro de la testa (mm) de los erizos. (a) Primer periodo y (b) Segundo periodo (la barra indica el error estándar).

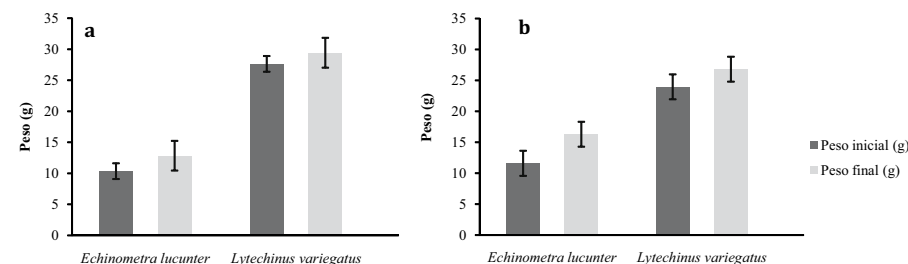


Figura 8. Incremento del peso húmedo (g) de los erizos. (a) Primer periodo y (b) Segundo periodo (la barra indica el error estándar).

Organismos asociados

Se identificaron 25 morfotipos de organismos asociados a las redes de cultivo y valvas de *N. nodosus* (Tabla 1) pertenecientes a siete grupos taxonómicos: Chlorophyta (1), Porifera (2), Mollusca (8), Annelida (3), Arthropoda (8), Bryozoa (1) y Pisces (2).

Tabla 1. Organismos bioincrustantes encontrados en las mini-linternas y sobre las valvas de *Nodipecten nodosus* (epibiontes). Tratamiento: CT= control; E= *Echinometra lucunter* y V= *Lytechinus variegatus*. Abundancia: A= abundante; C= común; O= ocasional y R= raro.

ESPECIE	ESTRUCTURA	TRATAMIENTO	ABUNDANCIA
ALGAS			
Chlorophyta			
<i>Enteromorpha</i> sp.	Linterna - Epibionte	CT	C
INVERTEBRADOS			
Porifera			
<i>Cliona</i> sp.	Linterna - Epibionte	CT	O
<i>Leucosolenia coriacea</i>	Linterna - Epibionte	CT, E	R
Mollusca			
<i>Cymatium</i> sp.	Linterna	CT,E,L	A
<i>Laevicardium</i> sp.	Linterna	CT	O
<i>Leptopecten bavayi</i>	Linterna	CT	O
<i>Perna perna</i>	Linterna	CT	C
<i>Pinctada imbricata</i>	Linterna	CT	A
<i>Pinna rugosa</i>	Epibionte	CT	C
<i>Pteria colymbus</i>	Epibionte	CT, E	C
<i>Trivia</i> sp.	Linterna	CT	R
Annelida			
<i>Hydroides</i> sp.	Epibionte	CT	R
<i>Nereis</i> sp.	Linterna	E	O
<i>Polydora</i> sp.	Epibionte	CT	R
Arthropoda			
<i>Balanus trigonus</i>	Linterna - Epibionte	CT,E,L	A
<i>Callinectis sapidus</i>	Linterna	CT,E,L	C
<i>Mithrax</i> sp.	Linterna	E	C
<i>Panulirus argus</i>	Linterna	CT,	C
<i>Portunus xantusii</i>	Linterna	CT,E,L	C
<i>Stenorhynchus seticornis</i>	Linterna	E	R
<i>Charybdis helleri</i>	Linterna	E	C
<i>Pilumnus</i> sp.	Linterna	CT, E	C
Bryozoa			
<i>Bugula</i> sp.	Epibionte	CT	O
VERTEBRADOS			
Peces			
<i>Aulostomus maculatus</i>	Linterna	E	R
<i>Balistidae</i> sp. 1	Linterna	CT	R

DISCUSIÓN

Lytechinus variegatus se caracteriza por ser omnívoro ya que consume una gran variedad de plantas y alimentos de origen animal (Lawrence, 1975). Si bien parece que el mayor componente de su dieta es el material vegetal, se consideran importantes otros componentes como briozoos, moluscos, algas, crustáceos, esponjas y foraminíferos (Beddingfield y McClintock, 1998).

En aguas tropicales es recomendable limpiar las artes de cultivo por lo menos una vez al mes y con erizos cada dos meses (Huang, 2000). La inclusión de erizos como biocontroles podría permitir que las faenas de limpieza sean menos frecuentes, sin generar problemas para el cultivo de pectínidos, en donde a menudo se producen daños físicos a los sistemas de cultivo, pérdida de los organismos y obstrucción de las mallas, implicando una reducción del flujo de agua que puede causar estrés innecesario debido a la disminución de oxígeno y los desechos acumulados (Hincapié-Cárdenas, 2007). Los ensayos realizados en este trabajo corroboran lo señalado anteriormente y por otros estudios (Lodeiros y García, 2004; Ross *et al.*, 2004; CRAB, 2006) que evidencian los beneficios de los erizos como biocontroles en la reducción del “fouling”, tanto en las artes de cultivo como en las valvas de los animales cultivados, resultando en un aumento de su crecimiento y supervivencia. Adicionalmente, con la presencia de los erizos se ha disminuido la frecuencia de limpieza de las redes mantenidas en el sistema de cultivo de dos a una vez y media por mes.

Los erizos de mar representan un excelente control biológico al demostrar que reducen significativamente la colonización de las artes de cultivo y de las valvas de los organismos cultivables. Ambas especies utilizadas evidenciaron resultados positivos, sin embargo, la especie más prometedora para su utilización en cultivos fue *L. variegatus*. Cabe mencionar que los erizos no sólo reducen el “fouling”, sino que son organismos que toleran su captura y manipulación. Ahora bien, el papel que cumplen a nivel de reducción de cobertura del “fouling” es muy importante; porque logran limpiar las artes de cultivo desde sus superficies internas, generando los mejores resultados en las caras laterales internas de las redes, en menor medida consiguen una reducción en los pisos superiores, y siguen siendo aun más restringida la limpieza de las caras externas de la red. Parece probable que a los erizos se les dificulta la limpieza de estas superficies porque no logran aferrarse o alcanzar estas superficies (Ross *et al.*, 2004). Sin embargo, el control biológico fomenta el crecimiento de los bivalvos ya que permite el flujo de alimento a través de la red, previniendo la incrustación por partes del “fouling” que en muchos de los casos está asociado a altas concentraciones de plancton y materia orgánica.

El monitoreo del control biológico permitió observar como el pastoreo elimina los organismos y materia orgánica presentes en las artes de cultivo; aunque el objetivo del trabajo no era conocer la dieta de los erizos; se puede considerar, según los resultados observados, que *L. variegatus* actúa directamente sobre el alga *Enteromorpha* sp., de manera tal que logra reducir la cobertura del “fouling” y detritos a lo largo de la red. La disminución de la cobertura vegetal reduce la retención de detritos, y a su vez la heterogeneidad espacial. Puede entenderse entonces que se establecen fluctuaciones de consumo, es decir, existen evidencias que sugieren que *L. variegatus* posee mecanismos para evitar el exceso de pastoreo en determinada zona; una primera tendencia es emigrar o dispersarse de las áreas limpias, seguida de una disminución del consumo individual o directo (Ross *et al.*, 2004). Es frecuente la utilización del detritus como fuente de alimento depositado por las corrientes (Lodeiros y García, 2004) “estrategias” que hacen más probable que *L. variegatus* reduzca efectivamente el “fouling” presente en las artes de cultivo de *N. nodosus*, en contraste con el caso de *E. lucunter*, en donde se pueden observar estrategias, en las cuales la depredación no logra ser lo suficientemente intensa.

Los resultados del crecimiento de los bivalvos, así como su supervivencia, muestran claramente que *N. nodosus* se ve directamente afectado por la acción del “fouling”, el cual interviene negativamente en el cultivo, como se observó en los tratamientos donde no se utilizaron erizos (Lodeiros y Himmelman, 1996, 2000; Lodeiros *et al.*, 1998). A su vez, los resultados en los tratamientos en donde se presentaron los valores más bajos de reducción del “fouling” (sin erizos), establecieron que el crecimiento de los bivalvos está fuertemente afectado por la colmatación e incrustación, reduciendo el flujo de agua y materia orgánica hacia el interior de las mini-linternas y por consiguiente la disponibilidad del alimento (Claereboudt *et al.*, 1994; Lodeiros y Himmelman, 1996). Además, el crecimiento de los bivalvos es mayor cuando se manejan las densidades de erizos más altas (4 ind/piso), quizá esa perturbación biológica no es tan fuerte como se registra en otros estudios (Irlandi y Mehlich, 1996), en donde las altas densidades de organismos controladores ($\geq$ a la densidad de siembra de cultivo de bivalvos) reduce el crecimiento de los animales cultivados; de acuerdo con esto, los resultados sugieren que las densidades utilizadas son las óptimas en el control biológico del “fouling” al no generar inconvenientes en el cultivo para la especie utilizada (Flimlin y Mathis, 1993; Minchin, 1996).

Del mismo modo, al comparar la supervivencia de *N. nodosus* se evidenció en el tratamiento control que los valores más bajos están asociados a la mayor presencia de organismos que hacen parte del “fouling”, y que logran colonizar las valvas, es decir, estos organismos se concentran en la parte superior de las valvas y tienen la capacidad de reducir la apertura del ligamento valvar, interfiriendo

mecánicamente con la articulación de las valvas o generando un peso adicional de la parte superior de la concha causando estrés al animal (Lodeiros y Himmelman, 1996). Minchin y Duggan (1989), demostraron que la inclusión de biocontroladores en el cultivo de mejillón disminuye las tasas de mortalidad y constituye un método elegible a la hora de controlar los depredadores y contribuir con el crecimiento de los bivalvos.

El registro de 25 morfotipos de organismos bioincrustantes es similar a otros estudios realizados en Latinoamérica (Pacheco y Garate, 2005). Las estructuras de cultivo suspendido de *N. nodosus* ofrecen sustratos para la colonización de especies incrustantes, que llegan a ocupar el amplio espacio disponible y en las protuberancias de la concha de los pectínidos (Peña, 2001) que facilita el asentamiento de numerosos organismos.

La mayoría de especies de moluscos son filtradoras (*Laevicardium* sp., *Leptopecten bayavi*, *Perna perna*, *Pinctada imbricata*, *Pinna rugosa* y *Pteria colymbus*) lo que puede significar competencia para *N. nodosus* y afectar su crecimiento. Entre los efectos perjudiciales están la colonización de ciertas esponjas (*Cliona* sp., *Leucosolenia coriacea*) y poliquetos como *Nereis* sp. que perforan la concha, forzando a los animales a secretar nuevas capas en sus valvas, además se debilita el músculo aductor y sufren estrés fisiológico (Velasco, 2008). Otras especies son consideradas depredadoras de los bivalvos, como cangrejos carnívoros, que además, contribuyen en el deterioro e incremento del peso de las artes de cultivo. Ahora bien el “fouling” también puede competir por los recursos directamente con los organismos en cultivo e incluir especies perjudiciales tales como *Polydora* sp., *Cymatium* sp., *Charybdis helleri*, *Callinectes sapidus*, *Pilumnus* sp., *Mithrax* sp. y *Stenorhynchus seticornis*, las cuales pueden estar asociados de forma directa con la mortalidad de pectínidos (Ciocco y Orezanz, 2001; Velasco, 2008).

CONCLUSIONES

La inclusión de biocontroladores (erizos) mostró los beneficios de la reducción del “fouling” tanto en las artes de cultivo como en los animales cultivados, resultando en un aumento del crecimiento, y supervivencia de los organismos, así como una disminución en la manipulación y en la frecuencia de mantenimiento de las artes. La efectividad debida a la acción pastoreadora de *Lytechinus variegatus*, presentó los mejores resultados en cuanto a la reducción del “fouling”, constituyéndose en una especie promisorio para ser utilizada en cultivos suspendidos de bivalvos. La presencia de los organismos incrustantes en las artes de cultivo, y en las valvas de los bivalvos, produjo efectos negativos; evidenciados en la disminución del crecimiento y la supervivencia de *Nodipecten nodosus*.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andréis”-INVMAR, en especial al Programa de Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos; Línea Bioprospección Marina, por el apoyo recibido en el desarrollo del trabajo. Este estudio ha sido resultado de la colaboración del grupo de Bioprospección Marina, especialmente Claudia Castellanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Beddingfield, S. D. y J. B. McClintock. 1998. Diferencial survivorship, reproduction, growth and nutrient allocation in the regular echinoid *Lytechinus variegatus* (Lamarck) fed natural diets. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 226 (2): 195-215.
- Carver, C. E., A. Chisholm y A. L. Mallet. 2003. Strategies to mitigate the impact of *Cliona intestinalis* (L.) biofouling on shellfish production. J. Shellf. Res., 22: 621-631.
- Ciooco, N. F. y J. M. Oresanz. 2001. Depredación. 267-268. En: Maeda-Martínez, A. N. (Ed.). Los moluscos pectínidos de Iberoamérica. Ciencia y Acuicultura, México D.F. 275 p.
- Claereboudt, M., D. Bureau, J. Cote. y J. H. Himmelman. 1994. “Fouling” development and its effect on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. Aquaculture, 121: 327-342.
- Correa, J. C., R. Iral. y L. Rojas. 2006. Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. Rev. Col. Estad., 29 (1): 57-76.
- CRAB. 2006. Mejores prácticas europeas en acuicultura y “biofouling”. Investigación colectiva en “biofouling” de acuicultura. http://www.crabproject.com/client/files/CRAB_Best_Practice_Guidelines-Spanish.pdf. 01/04/2011
- Díaz, J. M., L. M. Barrios, M. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López, G. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas, F. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. Serie de Publicaciones Especiales No. 5, INVMAR, Santa Marta. 176 p.
- FAO. 2003. Revisión del estado mundial de la acuicultura. Circ. Pesca, 886, Rev. 2 Roma. 103 p.
- Flimlin, G. E. y G. W. Mathis. 1993. Biological control in a field based nursery for the hard clam, *Mercenaria mercenaria*. World Aquacult., 24: 47-48.
- Garzón, J. y M. Cano. 1991. Tipos, distribución, extensión y estado de conservación de los ecosistemas marinos costeros del Parque Nacional Natural Tayrona. Manusc. VIII, FEN, Bogotá. 82 p.
- Helm, M. M., N. Bourne, y A. Lovatelli. 2006. Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico. FAO Doc. Téc. Pesca 471, Roma. 182 p.
- Hincapié-Cárdenas, C. 2007. *Macrobiofouling* on open-ocean submerged aquaculture cages in Puerto Rico. Tesis de Maestría en Ciencias, Marine Sciences University of Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico. 46 p.
- Huang, C. 2000. Engineering risk analysis for submerged cage net system in Taiwan. 133-140. En: Liao, I. C. y C. K. Lin (Eds.). Cage aquaculture in Asia: Proceedings of the First International Symposium on Cage Aquaculture. Tungkang, Taiwán. 150 p.

- Irlandi, E. A. y M. E. Mehlich. 1996. The effects of tissue cropping and disturbance by browsing fish on growth of two species of suspension-feeding bivalves. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 197: 279-293.
- Lawrence, J. M. 1975. On the relationship between marine plants and sea urchins. Oceanogr. Mar. Biol. Am. Rev. 13: 213-286.
- Lodeiros, C. y N. García. 2004. The use of sea urchins to control “fouling” during suspended culture of bivalves. Aquaculture, 231: 293-298.
- Lodeiros, C. y J. Himmelman. 1996. Influence of “fouling” on the growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* (Linnaeus, 1758) in suspended culture. Aquac. Res., 27: 749-756.
- Lodeiros, C. y J. Himmelman. 2000. Identification of factors affecting growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* in the Golfo Cariaco, Venezuela. Aquaculture, (182): 91-114.
- Lodeiros, C., J. J. Rangel, L. Freites, F. Morales, y J. H. Himmelman. 1998. Growth and survival of the tropical scallop (*Lyropecten*) *Nodipecten nodosus* maintained in suspended culture at three depths. Aquaculture, 165: 41-50.
- Minchin, D. 1996. Biological control of “fouling” in shellfish cultivation. Aquacult. Ireland, 229: 19-21.
- Minchin, D. y C. B. Duggan. 1989. Biological control of the mussel in shellfish culture. Aquaculture, 81: 97-100.
- Pacheco, A. y A. Garate. 2005. Bioincrustantes en estructuras de cultivo de *Argopecten purpuratus* en bahía Samanco, Perú. Ecol. Apl., 4: 4.
- Patrick, R. 1982. An extension of Shapiro and Wilk’s W test for normality to large samples. Appl. Stat., 31: 115-124.
- Peña, J. 2001. Taxonomía, morfología, distribución y hábitat de los pectínidos iberoamericanos. 1-23. En: Maeda, A. (Ed.). Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura.
- Portillo, E. 2002. Control biológico del “fouling” en tanques de cultivo de macroalgas mediante el gasterópodo *Osilinus atratus* (Wood, 1828). Bol. Inst. Esp. Oceanogr, 18 (1-4): 401-404.
- Ross, K., J. Thorpe y A. Brand. 2004. Biological control of “fouling” in suspended scallop cultivation. Aquaculture, 229: 99-116.
- Velasco, L. A. 2008. Biología y cultivo de los pectínidos de interés comercial en Colombia. Editorial Universidad del Magdalena, Santa Marta. 258 p.
- Watson, D. I., S. Durr, D. Beaz, E. Bergtun, R. Breur, J. Cebria, J. Davenport, D. Fowler, C. Hough, J. Icelly, A. Lane, J. Maguire, A. Manjua, M. Marhuenda, K. Maroni, J. McElwee, H. Mortensen, D. Murphy, J. Murphy, J. Newman, A. Pereira, J. Power, S. Prieto, J. Thomason, J. Watters y P. Willemsen. 2005. “Fouling” remediation through the use of grazers in shellfish aquaculture. Taller, Aquaculture and Fisheries Development Centre, University College Cork, Cork. Irlanda. 15 p.
- Willemsen, P. R. 2005. Biofouling in European aquaculture: Is there an easy solution? Eur. Aquac. Soc. Spec. Publ., 35: 82-87.
- Zar, J. H. 1984. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Englewoods Cliff, New Jersey. 699 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 29/04/2010

FECHA DE ACEPTACIÓN: 23/04/2011