

**LOS ERIZOS DE MAR *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) Y  
*Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) COMO CONTROL BIOLÓGICO DEL  
“FOULING” DURANTE EL DESARROLLO DE UN CULTIVO PILOTO DEL  
PECTINIDO *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) EN LA REGIÓN DE  
SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO**

**CAMILO ANDRÉS CORTÉS USECHE**

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO**

**PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**

**SANTA MARTA, D.T.C.H.**

**2009**

**LOS ERIZOS DE MAR *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) Y *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) COMO CONTROL BIOLÓGICO DEL “FOULING” DURANTE EL DESARROLLO DE UN CULTIVO PILOTO DEL PECTINIDO *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) EN LA REGIÓN DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO**

**CAMILO ANDRÉS CORTÉS USECHE**

**Trabajo de Grado para  
optar al título de Biólogo Marino**

**Director**

**JAVIER GÓMEZ LEÓN**

**Biólogo Marino Doctor en Ciencias Biológicas**

**Codirector**

**CLAUDIA CASTELLANOS**

**Biólogo Marino Magister en Biología Marina**

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO**

**PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**

**SANTA MARTA, D.T.C.H.**

**2009**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Santa Marta, Día: Mes: Año: \_\_\_\_\_**

## **DEDICATORIA**

PORQUE EU NÃO ESTOU SOZINHO COM  
TUDAS AS MINHAS FORÇAS.PRA FRESA,  
BIZCOCHO & MEU IRMÃO ele ENANO.

MUITO OBRIGADO



## AGRADECIMIENTOS

Gracias al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés"—INVEMAR, en especial al Programa de Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos; Línea de Bioprospección Marina, por el apoyo recibido en el desarrollo del trabajo.

Este trabajo ha sido el resultado de la colaboración del grupo Bioprospección marina, en especial Claudia Castellanos, que con su dedicación y conocimiento generaron aportes significativos en las diferentes etapas del desarrollo del trabajo de grado. También a Amalia Cano Coordinadora Académica del Instituto por toda su colaboración, Johann López, Ernesto Acosta y Nelson Bolaño por su apoyo en el trabajo en campo, al Centro de Documentación, a la Coordinación de Servicios Generales y demás personal del INVEMAR que con su amabilidad hicieron de este trabajo una valiosa experiencia.

A Javier Gómez León, Coordinador de la Línea Bioprospección Marina, por la oportunidad de pertenecer al grupo y por su valiosa orientación y fortalecimiento de mi formación académica.

A la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, por las experiencias y apoyo brindado, en especial a los profesores por sus comentarios y observaciones. Al igual que monitores y personal de laboratorio que contribuyo con la identificación de los organismos incrustantes.

No olvidar a las personas que colaboraron de una u otra forma en el proceso de formación como Biólogo Marino; a Johanna Calle por sus oportunas sugerencias e incondicional energía, a José Sady Bernal por sus aportes, Camilo Charria, Cesar Burgos Jr. y otros buenos amigos que saben que con su respaldo y buena vibra hicieron de este proyecto de vida algo inolvidable.



## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE .....	3
2.1 Los bivalvos marinos.....	3
2.1.1 Cultivo de pectínidos en sistema suspendido .....	4
2.2 Epibiontes .....	5
2.2.1 Biomasa de epibiontes.....	6
2.2.2 Principales especies y grupos del "biofouling" .....	6
2.3 Anti-"fouling".....	10
2.3.1 Estrategias del "biofouling" .....	10
2.3.2 Dispositivos utilizados para eliminar el "fouling" .....	11
2.3.3 Control biológico .....	12
2.3.3.1 Control biológico del "fouling" .....	12
2.4. Descripción de las especies biocontroladoras .....	14
<i>Lytechinus variegatus</i> .....	14
<i>Echinometra lucunter</i> .....	15
3. PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	15
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
4. HIPOTESIS .....	16
5. METODOLOGIA.....	17
5.1 Área de Estudio.....	17
5.2 Ensayos preliminares.....	18
5.3 Materiales .....	19
5.3.1 Artes de cultivo .....	19
5.3.2 Obtención de animales .....	19
Organismos biocontroladores.....	19



Bivalvos marinos (Pectínidos) .....	19
5.4 Procedimiento en campo .....	20
5.5 Diseño muestral y análisis estadístico .....	20
6. RESULTADOS .....	22
6.1 Cobertura del "fouling" en las artes de cultivo .....	22
6.2 "Fouling" en las artes de cultivo .....	24
6.3 "Fouling" sobre las valvas de <i>N. nodosus</i> .....	27
6.4 Crecimiento y supevivencia de los bivalvos .....	29
6.5 Crecimiento y supervivencia de los erizos de mar .....	31
6.6 Especies predominantes .....	32
7. DISCUSIÓN .....	34
7.1 Cobertura del "fouling" en las artes de cultivo .....	34
7.2 "Fouling" en las artes de cultivo .....	35
7.3 "Fouling" sobre las valvas de <i>N. nodosus</i> .....	38
7.4 Crecimiento y supevivencia de los bivalvos .....	38
7.5 Crecimiento y supervivencia de los erizos de mar .....	39
7.6 Especies predominantes .....	40
8. CONCLUSIONES .....	43
9. RECOMENDACIONES .....	44
10. BIBLIOGRAFIA .....	45
11. ANEXOS .....	55



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Análisis de varianza a una vía del incremento en peso húmedo (g) causado por el "fouling" en las mini-linternas durante el segundo período.....	26
<b>Tabla 2.</b> Análisis de varianza a una vía del incremento en peso seco (g) causado por el "fouling" en las artes de cultivo en el primer período.....	26
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza a una vía del incremento en peso seco (g) causado por el "fouling" en las artes de cultivo para los diferentes tratamientos en el segundo período.....	27
<b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza a una vía del incremento en peso (g) causado por el "fouling" en las valvas de <i>N. nodosus</i> durante el primer período.....	28
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza a una vía del incremento en peso (g) causado por el "fouling" en las valvas de <i>N. nodosus</i> durante el segundo período. ....	28
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza a una vía del crecimiento (longitud mm) de <i>N. nodosus</i> durante el primer período.....	30
<b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza a una vía del crecimiento (longitud mm) de <i>N. nodosus</i> durante el segundo período.....	30
<b>Tabla 8.</b> Especies de bioincrustantes encontradas en las minilinternas y sobre las valvas de <i>N. nodosus</i> (epibiontes). Tratamiento; C = Control, E = <i>E. lucunter</i> , y V = <i>L.variegatus</i> . Abundancia; C = Comun, F = Frecuente, P = Presente, R = Raro.....	33



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema de cultivo suspendido de bivalvos marinos, principalmente pectínidos (modificado de Gómez-León <i>et al.</i> , 2009).....	5
<b>Figura 2.</b> "Fouling", creciendo sobre las redes de cultivo denominadas linternas.....	7
<b>Figura 3.</b> Organismos clase Cirripedia creciendo sobre artes de cultivo ("linternas") de bivalvos (modificado de CRAB, 2006).....	8
<b>Figura 4.</b> Organismos biocontroladores ( <i>Lytechinus variegatus</i> ) sobre <i>N. nodosus</i> .....	13
<b>Figura 5.</b> <i>Lytechinus variegatus</i> (Lamarck, 1816) .....	14
<b>Figura 6.</b> <i>Echinometra lucunter</i> (Linnaeus, 1758).....	15
<b>Figura 7.</b> Mapa del área de estudio, Parque Nacional Natural Tayrona, la flecha roja indica la estación de cultivo piloto de <i>N. nodosus</i> del INVEMAR en la bahía de Neguanje (modificado de Manrique- Rodríguez <i>et al.</i> , 2006).....	18
<b>Figura 8.</b> Artes de cultivo tipo mini-linternas empleadas para el cultivo suspendido de <i>N. nodosus</i> en la región de Santa Marta, Caribe colombiano.....	19
<b>Figura 9.</b> Esquema del control biológico del "fouling", durante el cultivo suspendido de <i>N. nodosus</i> en la región de Santa Marta, Caribe colombiano.....	21
<b>Figura 10.</b> Distribución del "fouling" en las artes de cultivo (mini-linternas) del cultivo suspendido del pectínido <i>N. nodosus</i> .....	23
<b>Figura 11.</b> Reducción de la cobertura del "fouling" en la red por parte de los erizos.....	23
<b>Figura 12.</b> Tratamiento control (sin erizos), donde la cobertura del "fouling" es mayor.....	24
<b>Figura 13.</b> Tratamiento con <i>L. variegatus</i> (A) y con <i>E. lucunter</i> (B). Los círculos indican los sectores menos poblados por organismos asociados al "fouling".....	24
<b>Figura 14.</b> Incremento del peso húmedo (g) causado por el "fouling" en las mini-linternas) durante el segundo período.....	26



<b>Figura 15.</b> Incremento del peso en seco (g) causado por el "fouling" en las mini – linternas en los períodos de estudio.....	27
<b>Figura 16.</b> Incremento del "fouling" presente sobre las valvas de <i>N. nodosus</i> en los períodos de estudio .....	29
<b>Figura 17.</b> Talla alcanzada por <i>N. nodosus</i> durante los períodos de estudio.....	30
<b>Figura 18.</b> Supervivencia de <i>N. nodosus</i> durante los períodos de estudio.....	31
<b>Figura 19.</b> Diametro (mm) de la testa alcanzado por los erizos de mar; (A) primer período y (B) segundo período.....	32
<b>Figura 20.</b> Incremento del peso (g) de los erizos de mar;(A) primer período y (B) segundo período.....	32



## INDICE DE ANEXOS

**ANEXO A.** Principales depredadores de *Nodipecten nodosus* encontrados durante el cultivo suspendido.....55

**ANEXO B.** Principales epibiontes y organismos asociados al cultivo suspendido de *Nodipecten nodosus*.....56



## RESUMEN

Como una alternativa para reducir el "fouling" en el cultivo de bivalvos y aportar información que sirva de apoyo en la optimización de las técnicas de cultivo en el mar, 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 Neguanje, Santa Marta, Caribe colombiano, colectando ejemplares con tallas promedio de 50 y 55 (mm) respectivamente. Fueron establecidos cinco tratamientos: 1 y 2. *Echinometra lucunter* con una densidad de dos y cuatro individuos por piso de mini - linterna; 3. Control (sin erizos); 4 y 5. *Lytechinus variegatus* con una densidad de dos y cuatro individuos por piso de mini - linterna. Los pectínidos utilizados correspondieron a animales captados del medio natural a través de colectores artificiales instalados en la estación de cultivo, con tallas de 80 (mm). Para evaluar la efectividad de los erizos, se obtuvo el peso total del "fouling", pesando las linternas antes y después del experimento (limpias y biocolonizadas) en seco y húmedas. A su vez, se registró la longitud antero posterior (mm) y la biomasa húmeda (g) de los pectínidos, como también el diámetro de la testa (mm) y peso (g) de los erizos; fue establecida la supervivencia tanto de los bivalvos como de los erizos una vez transcurrido el experimento (50 días). Los resultados evidenciaron una disminución significativa en el "fouling" por parte de los erizos de mar; sin embargo *L. variegatus* presentó los valores de reducción más altos (68 y 55% en las artes de cultivo y valvas, respectivamente) evidenciando un aumento de talla y mayor supervivencia de *N. nodosus*. La densidad de 4 ind/piso, redujo efectivamente el "fouling" y permitió tener condiciones óptimas de cultivo para los organismos. Se identificaron un total de 26 especies asociadas a las redes y valvas de *N. nodosus*, correspondientes a ocho grupos taxonómicos: Chlorophyta (1), Porifera (2), Cnidaria (1), Mollusca (8), Annelida (3), Arthropoda (8), Bryozoa (1) y peces (2). Los organismos considerados como epibiontes estuvieron representados por diez especies.

**PALABRAS CLAVES:** "fouling", cultivo, bivalvos, pectínidos, *Nodipecten nodosus*, *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, control biológico.



## ABSTRACT

As an alternative to reduce fouling in bivalve culture and provide information that will support the optimization of cultivation techniques at sea, we evaluated the effectiveness of sea urchins *Lytechinus variegatus* and *Echinometra lucunter* as biological controllers of fouling in scallop culture of *Nodipecten nodosus* in Neguanje Bay, Santa Marta, Colombian Caribbean, collecting specimens with average sizes of 50 and 55 (mm) respectively. Five treatments were established: 1 and 2. *Echinometra lucunter* with a density of two and four individuals per floor of pearl net, 3. Control (no sea urchins), 4 and 5. *Lytechinus variegatus* with a density of two and four individuals per floor of pearl net. Scallops used corresponded to the wild animals captured through artificial collectors installed in the growing season, with sizes of 80 (mm). To evaluate the effectiveness of sea urchins, we obtained the total weight of fouling, weighing the pearl nets before and after the experiment (clean and colonized) dry and wet. In turn, recorded the shell antero-posterior length (mm) and wet biomass (g) of the scallops, as well as the diameter of the sea urchin body (mm) and weight (g) of sea urchins, and was established both survival bivalves as urchins elapsed after the experiment (50 days). The results showed a significant decrease in the fouling 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 increased survival of *N. nodosus*. The density of 4 ind / floor, effectively reduced fouling and allowed to have optimum growing conditions for organisms. We identified a total of 26 species associated with the pearl nets and valves of *N. nodosus*, corresponding to eight taxonomic groups: Chlorophyta (1), Porifera (2), Cnidaria (1), Mollusca (8), Annelida (3), Arthropoda (8), Bryozoa (1) and fish (2). The organisms considered as epibionts were represented by ten species.

**KEYWORDS:** "fouling", bivalve culture, scallops, *Nodipecten nodosus*, *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, biological control.



## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la maricultura ha presentado un vertiginoso avance, el cual se ha fundamentado en los progresos científicos y técnicos, que han permitido conocer con mayor exactitud y precisión los procesos biológicos de la reproducción, la alimentación, así como del crecimiento de los animales marinos (González, 2002).

Estos progresos han permitido que la producción acuícola mundial se encuentre constituida en una parte importante por los moluscos, especialmente por los bivalvos (ostras, mejillones, almejas y pectínidos), convirtiéndose a su vez, en una alternativa de solución a la sobreexplotación de los bancos naturales que se aproximan a los límites máximos sostenibles y que en algunos lugares ya los han sobrepasado (FAO, 2006).

Sin embargo, durante todo este proceso de cultivo, existen factores externos que afectan la producción, como la presencia de epibiontes, considerados como el conjunto de organismos acuáticos que se adhieren y crecen sobre objetos sumergidos. Además, la incrustación excesiva en organismos vivos, como moluscos o crustáceos, puede impedir sus funciones corporales normales llevándolos al debilitamiento y la muerte (FAO, 2007a).

Los organismos epibiontes o en su efecto "fouling", son considerados como el fenómeno de adherencia de una elevada biodiversidad de organismos oportunistas, que se convierten en un gran inconveniente para el desarrollo de la maricultura; implicando la limpieza periódica de los materiales usados en esta actividad, como jaulas, redes, cabos, boyas y los propios animales cultivados, incrementándose de esta forma los costos de producción (Portillo, 2002).

La problemática real radica en la superficie cubierta por el "fouling", al obstruir el flujo del agua a través de las redes y contenedores, reduciendo así la disponibilidad de alimento y oxígeno, provocando un efecto negativo en el crecimiento y la supervivencia de los organismos cultivados (Lodeiros y Himmelman, 1996).



La acuicultura en sistemas suspendidos, se ha encaminado a combatir el "fouling", con una serie de investigaciones, que buscan alternativas sostenibles a las actuales estrategias de "antifouling" existentes. Las técnicas actuales de prevención y eliminación del "fouling", se reducen a la aplicación de pinturas tóxicas por parte de industrias de la comunidad europea (que contienen metales pesados, perjudiciales para el ambiente, además, son costosos y pueden ser dañinos para la salud humana); como también en el establecimiento de períodos de emersión, o la práctica de diferentes procesos de lavado (agua a presión, raspado, lejía y otros). Estos procesos implican un alto costo de tiempo y personal, que influyen en la rentabilidad de esta actividad acuícola (Portillo, 2002); es por esto que se ha propuesto una serie de estrategias promisorias, con un interés generalizado en forjar conocimientos que mejoren el manejo del "fouling" (CRAB, 2006).

Entre estas estrategias de solución, se ha planteado la utilización de controladores biológicos, de los cuales muchos estudios señalan los beneficios de los mismos en la reducción del "fouling" de los sistemas y artes de cultivo, así como de los bivalvos, conllevando a un aumento del 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 datos son el resultado de observaciones experimentales, faltando mucho por descubrir para aplicarlo a gran escala (CRAB, 2006).

Como una alternativa para reducir el "fouling" en el cultivo de pectínidos, surgió el principal objetivo de este estudio, el cual fue evaluar el efecto de los erizos de mar *Echinometra lucunter* y *Lytechinus variegatus*, en el control y reducción de estos procesos de biocolonización, que proliferan en las artes de cultivo y sobre la concha de *Nodipecten nodosus* limitando su crecimiento y afectando la supervivencia. Los erizos de mar juegan un papel importante en la estructura de las comunidades bentónicas litorales, provocando cambios en la cobertura vegetal, que modifican los recursos tróficos, la estructura del hábitat, incluso afectan la presencia y abundancia de otros grupos animales como moluscos, esponjas, tunicados o peces (Calva, 2003; Tuya *et al.*, 2004).



Este trabajo estuvo enmarcado dentro del Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos (VAR), del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" -INVEMAR.

## **2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 Los bivalvos marinos**

Los bivalvos marinos constituyen uno de los grupos más importantes en la acuicultura, ya que presentan un alto potencial como recurso alimenticio, capaz de generar una alta producción y rentabilidad económica (Philipson, 1989). Son organismos fáciles de cultivar, se alimentan de microorganismos que se encuentran en la columna del agua (principalmente microalgas), y tienen un crecimiento relativamente rápido (Pereira, 1998), permitiendo de esta manera que su cultivo sea una herramienta, que promete, proyectarse a escala comercial en el país, presentándose como una actividad de producción ejemplar y sostenible a largo plazo; contribuyendo así a la reducción de la presión sobre los ecosistemas costeros y la diversificación de la acuicultura (Castellanos y Newmark, 2003).

Los pectínidos son organismos hermafroditas que tienen una gónada dividida en dos partes: masculina de color blanco y femenina de color anaranjado, bien conspicua según su estadio de madurez (Román *et al.*, 2001).

*Nodipecten nodosus*, es considerada la especie de mayor tamaño para el Caribe, logrando alcanzar una talla de 150 mm (Lodeiros *et al.*, 1999), crecimiento reportado en cultivo experimental, con resultados satisfactorios para la especie en estas condiciones (Lodeiros *et al.*, 1998; Acosta *et al.*, 2000; Freites y Núñez, 2001).

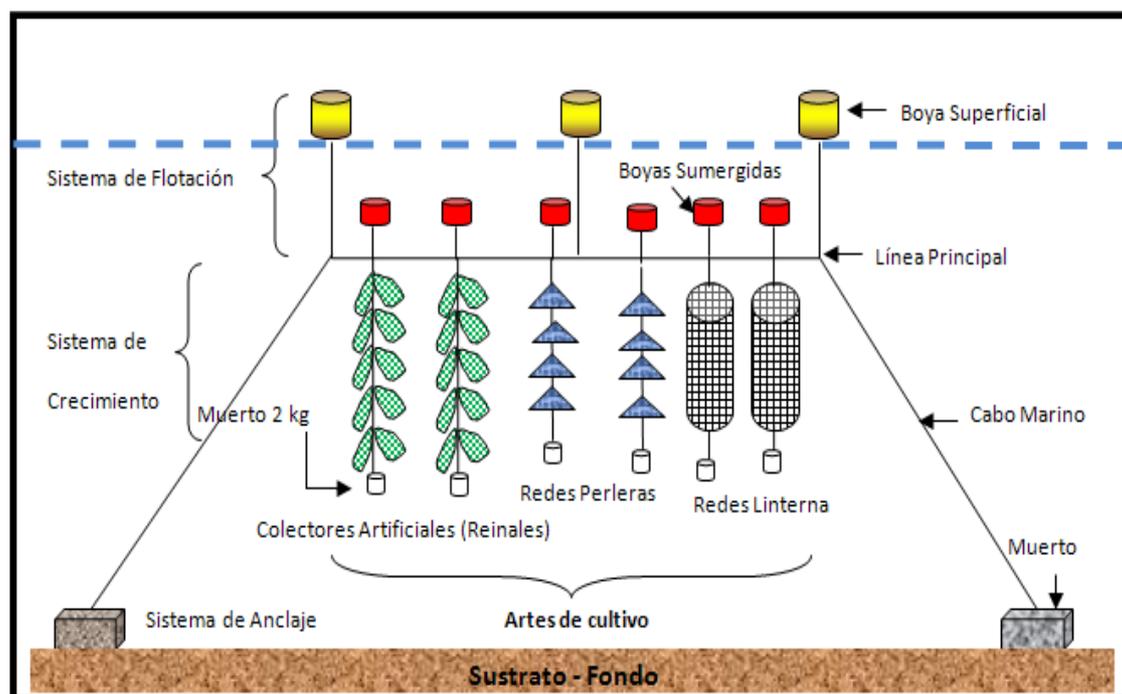


### **2.1.1 Cultivo de pectínidos en sistema suspendido**

Este sistema de cultivo consiste en mantener a los bivalvos (pectínidos) en estructuras sumergidas en el agua entre los 4 y 15 m de profundidad (Valero y Caballero, 2003). El cultivo implica una técnica de origen asiática (Japón), que consiste en la utilización de líneas flotantes denominadas "Long-lines", constituidas por líneas denominadas principales o de cultivos, encargadas de propiciar un ambiente artificial para el crecimiento de los bivalvos, las cuales se encuentran suspendidas por boyas superficiales y sumergidas (que permiten que los animales se mantengan en la columna de agua), ancladas a sus extremos por un sistema de fondeo para resistir la acción de las fuerzas de olas, corrientes y vientos (figura 1). A este sistema, se le colocan líneas secundarias, para la captación de semilla, redes de cultivo intermedio o para el engorde (Imai, 1978; Pereira, 1998; Avendaño *et al.*, 2001; Valero y Caballero, 2003).

Generalmente, para el cultivo de bivalvos, se obtienen semillas de bancos naturales, por medio de colectores o bolsas artificiales, o son producidas en laboratorio (Velasco y Barros, 2008), esas semillas son trasladadas a las zonas de levante y engorde, donde alcanzan la talla comercial para ser cosechadas (Valero y Caballero, 2003; FAO, 2006).

Los costos de producción en ambiente natural son más bajos comparados con el cultivo de peces y camarones, debido a que estos animales son organismos que se alimentan por filtración, es decir, que aprovechan al máximo la productividad natural del medio marino, reduciendo así la inversión en alimento (Castellanos y Newmark, 2003).



**Figura 1.** Sistema de cultivo suspendido de bivalvos marinos, principalmente pectínidos (modificado de Gómez-León *et al.*, 2009).

## 2.2 Epibiontes

Son organismos incrustantes que componen el "biofouling", los cuales interfieren directamente con las actividades realizadas en el ambiente marino, siendo los cultivos suspendidos los más afectados, ya que reducen el crecimiento de las especies cultivadas, afectan la calidad de las valvas, aumentan la proliferación de enfermedades, producen la mortalidad de los bivalvos, y generan un incremento en el peso de los sistemas de cultivo (BIOTECMAR, 1990). Se ha reportado, cómo numerosos organismos epibiontes se fijan a los sistemas de cultivo y a las valvas de los pectínidos, específicamente en el Golfo de Cariaco Venezuela (Lodeiros y Himmelman, 1996), cuyos resultados mencionan como el crecimiento del pectínido *Euvola ziczac* se ve fuertemente afectado por el "fouling" presente tanto en artes de cultivo como en el mismo animal, e incluso aumentando la mortalidad.



### 2.2.1 Biomasa de epibiontes

La biomasa de epibiontes que se fija sobre las valvas de los pectínidos, puede impedir sus funciones corporales normales llevándolos al debilitamiento y hasta la muerte. Esta biomasa se compone principalmente por cirrípedos, algas y otros tipos de bivalvos, que en exceso sobre las valvas de los animales, generan una fuerza opuesta que impide la correcta apertura de las mismas, impidiendo tanto la alimentación como la respiración, causando altas mortalidades, como también pérdidas económicas significativas (Widman y Rhodes, 1991; Lodeiros y Himmelman, 1996, 2000; FAO, 2007a).

En algunos casos, la biomasa de los organismos del “fouling” va a depender de la profundidad; estudios realizados en bahía Tongoy (Chile) por Moya (1998), demostraron que a mayor profundidad (9-15 m) disminuyen los valores de organismos epibiontes ( $\leq 0.34 \text{ g/cm}^2$ ), en tanto que a menor profundidad (3-9 m) aumentan ( $\geq 0.34 \text{ g/cm}^2$ ), posiblemente debido a mayor disponibilidad de concentración de alimento, irradiación y temperatura. En la región del Golfo de Cariaco (Venezuela), estudios realizados con *E. ziczac* por Lodeiros y Himmelman (2000), mencionan que en períodos de surgencia, los niveles de epibiosis son mayores que en la época de estratificación; puede alcanzar  $80 \text{ mg/cm}^2$  a 8 m de profundidad, y  $20 \text{ mg/cm}^2$  a 21 m, mientras que a 34 m esta biomasa es menor de  $3 \text{ mg/cm}^2$ . En períodos de estratificación, la biomasa disminuye, siendo por ejemplo de  $15 \text{ mg/cm}^2$  a 21 m.

### 2.2.2 Principales especies y grupos del “biofouling”

El término “biofouling”, es comúnmente empleado para distinguir los ensamblajes de animales y plantas que crecen sobre estructuras artificiales (figura 2).



**Figura 2.** "Fouling", creciendo sobre las redes de cultivo denominadas linternas.

Dentro de la comunidad del "biofouling" se destacan: organismos sésiles y formas vágiles (gusanos y pepinos de mar). Las formas sésiles determinan la estructura de la comunidad con representantes tales como: esponjas, hidroides, corales, balanos, bivalvos, bryozoos, ascidias, y algas (Railkin, 2004).

Los gusanos anélidos en muchos de los casos, son organismos de vida libre, y al ser numerosos, generan tubos calcáreos consolidados, se destacan las familias de: serpulidos, sabélidos y nereidos (Santos *et al.*, 2003).

Los balanos del Sub phylum Crustacea (Sub clase Cirrepedia) constituyen el grupo más relevante dentro de la comunidad del "biofouling", forman fuertes capas calcáreas las cuales se establecen en sustratos sumergidos permanentemente o periódicamente (figura 3). Algunos epibiontes no permiten abrir y cerrar las valvas de los pectínidos, dado que se fijan a la región de la charnela, impidiendo la respiración y alimentación (Ventilla, 1982); Rupp y Parsons (2001), reportan que la incrustación de *Balanus* sp. en valvas de *N. nodosus*, así como en los artes de cultivo, afectan negativamente el crecimiento del animal.



**Figura 3.** Organismos clase Cirripedia creciendo sobre artes de cultivo (linternas) de bivalvos (modificado de CRAB, 2006).

Los bryozoos constituyen un grupo de organismos coloniales complejos, que se encuentran en una cámara calcificada o quitinosa (Montoya *et al.*, 2007); generalmente están asociados con otros organismos como algas, esponjas, hidroides, corales, tunicados, así como a partículas suspendidas en el agua que producen compartimientos calcáreos, dispuestos en forma tubular.

Los moluscos considerados como organismos de la comunidad del "biofouling" incluyen a los bivalvos como ostras, mejillones y ostiones, como a quitones y algunos escafofodos. Entre los bivalvos se destacan los géneros, *Chama*, *Ostrea*, *Pecten*, *Mytilus* y *Arca*. En bahía Inglesa (Chile), los mitílidos se fijan formando racimos que aumentan el peso de las estructuras de cultivo (Uribe *et al.*, 2001); en el Golfo Cariaco (Venezuela), se destaca la presencia de *Ostrea equestris* y *Cassostrea rhizophorae*, los cuales se adhieren sobre valvas de *N. nodosus* y *E. ziczac* afectando su crecimiento, impidiendo generalmente la apertura de las valvas, que a su vez se ve reflejado en el aumento de la mortalidad (Lodeiros y Himmelman, 1996). En cultivos de *N. nodosus* en Santa Catarina (Brasil) se incluyen las especies *Perna perna*, *Lithopaga patagónica* y *Leptopecten bavayi*, incluso se extiende la lista de especies epibiontes en bahía Magdalena y La Paz (México), donde se registran las especies *Anadara multicosmata*, *Anomia peruviana*, *Barbatia illotia*, *Isognomon recognitus*, *Laevicardium elatum*, *Pinctada mazatlanctica*, *Pinna rugosa* y *Pteria sterna*, los



cuales son competidores directos de los pectínidos cultivables (Uribe *et al.*, 2001).

Las algas se encuentran ampliamente establecidas dentro de los organismos del "fouling", su proceso de fijación restringe el flujo de agua a través de las artes de cultivo. Estudios realizados por Lodeiros y Himmelman (1996), reportan la fijación de algas en conchas de *E. ziczac* y artes de cultivo en el Golfo de Cariaco (Venezuela), que causan una disminución en el flujo del agua en los sistemas de cultivo, reduciendo la disponibilidad de alimento y oxígeno.

Otras formas coloniales incluyen el grupo de los hidroides, los cuales se adhieren firmemente a un objeto, su tipo de crecimiento hace que aparezcan robustas ramificaciones que regularmente contienen ciertos bryozoos y algas. Estudios en bahía Tongoy (Chile), registran a *Obelia* sp y *Eudendrium*, como las especies de mayor cobertura sobre *Argopecten purpuratus*. Los tunicados son organismos que se encuentran en el "fouling" de manera simple, producto de su forma plana y reducida, como *Styela*, *Molgula* y *Ciona*. Algunas otras formas pequeñas componen colonias, que constituyen masas irregulares, como *Amaroucium*, *Didemnum*, *Botryllus* y *Botrylloides* (Uribe *et al.*, 2001).

Ciertas esponjas están involucradas con la comunidad del "fouling", su cuerpo se sostiene de espículas calcáreas o silíceas, fibras de espongina y capas de carbonato de calcio (Alcolado, 2007), algunas representantes son; *Leucosolenia* y *Grantia*. En Brasil y Venezuela reportan la presencia de *Ciona* sp como epibionte de *N. nodosus* y *E. ziczac*, la cual perfora las valvas haciéndolas más frágiles (Uribe *et al.*, 2001).

Se encuentran otros organismos como isópodos, anfípodos, decápodos y picnogónidos. También, se presentan anemonas que mediante una estructura plana de fijación llamada pedal, se adhieren al sustrato. Los corales poseen pólipos que se despliegan, así como un mecanismo mediante el cual secretan material calcáreo, capaz de formar complejas estructuras. Los equinodermos y ciertas especies de peces también hacen parte del "biofouling", generalmente de tamaño pequeño o estadios larvales (Uribe *et al.*, 2001).



Las principales especies y grupos del “fouling” han sido objeto de algunos estudios; Pacheco y Garate (2005) en la bahía Samanco (Perú), registraron 33 especies de bioincrustantes asociados a las diferentes estructuras de cultivo, correspondientes a diez grupos taxonómicos: Crustacea (7), Bivalva (6), Gasterópoda (5), Polyplacophora (2), Brachiopoda (1), Echinodermata, Polychaeta (4), Hidrozoa (1), Hemichordata (1) y peces (2). Otros trabajos realizados incluyen registros en bahía Guanaqueros (Chile), golfo de Cariaco (Venezuela) y en la ensenada de Pinheira (Brasil) en donde se han encontrado un sin número de especies bioincrustantes haciendo parte del “fouling”. En el caso concreto de bahía Tongoy, Guanaqueros e Inglesa en Chile, publicaciones elaboradas por Moya (1998), Uribe y Etchepare (1998), reportan la suma total de 63 especies de epibiontes, incluidas 14 especies de algas, encontradas en las valvas y sistemas de cultivo. En el golfo de Cariaco (Venezuela) y en la ensenada de Pinheira, Santa Catarina, Brasil, se registran las especies de epibiontes de *E. ziczac* y *N. nodosus*, correspondientes a los grupos de; Porífera (1), Mollusca (6), Annelida (1), Artrópoda (2) y Bryozoa (1) y Porífera (1), Mollusca (7), Annelida (1), Hemichordata (2) y Bryozoa (2) (Rupp y Parsons, 2001).

## **2.3 Anti-“fouling”**

### **2.3.1 Estrategias del “biofouling”**

Dentro de las estrategias que existen para combatir el “fouling”, se destacan los tres principios fundamentales para el “antifouling”:

1. Combatir el asentamiento inicial
2. Prevenir el desarrollo del “fouling”
3. Remover el “fouling”

El sector “antifouling”, actúa principalmente complementando las necesidades de la industria, para lo cual ha emprendido desde hace unas décadas una intensa investigación en desarrollar estrategias de “antifouling” que en su gran mayoría son tóxicas (CRAB, 2006).

Los fenómenos de “biofouling” en estructuras sumergidas en medio marino, ocurren a menudo por la acumulación de organismos sobre una superficie



(Echeverría *et al.*, 2006); es decir, este fenómeno implica una acción directa para su prevención y eliminación. Los métodos clásicos para evitar los efectos indeseados del “fouling” en las estructuras flotantes, corresponden a la aplicación de baños de agua dulce o exposición de los sistemas a la luz solar por un tiempo prolongado, así como utilización de pinturas anticorrosivas (Méndez, 2007).

### 2.3.2 Dispositivos utilizados para eliminar el “fouling”

Dentro de las prácticas y técnicas de limpieza utilizadas por la industria de la acuicultura, se destacan las empleadas por el proyecto CRAB (2006):

- Remoción directa: permite mantener un óptimo flujo de agua, aportando alimento y oxígeno. Genera baja mortalidad, pero la remoción manual conlleva a la generación de elevados costos laborales.
- Remoción mecánica: es una técnica que funciona con estructuras de lavado (cepillos mecánicos). Este tipo de máquinas tienen una gran facilidad de manejo; sin embargo, las conchas pueden fácilmente ser dañadas.
- Inmersión en agua caliente: mediante este método las conchas, se limpian con agua caliente a 70°C, durante algunos segundos. Esta técnica fue calificada de muy fácil uso y alta efectividad para remover el “fouling”.
- Lavados a alta presión: técnica efectiva para remover todo tipo de “fouling”, utilizando un chorro de agua estándar de alta presión.
- Baños en agua dulce: los organismos se someten a un baño en agua dulce, es considerado de costos relativamente bajos, aunque el agua debe ser cambiada para mantener la salinidad ( $\leq 1$ ). En especies como los pectínidos su aplicación se ve restringida a su morfología.
- Baños en soluciones químicas: se usan diferentes soluciones químicas (ácido acético, lima hidratada, salmuera saturada o soluciones de hipoclorito), para eliminar las diferentes especies del “fouling” en moluscos con variados niveles de éxito.



### 2.3.3 Control biológico

El control biológico es la represión de las plagas mediante sus enemigos naturales; es decir, mediante la acción de predadores. Este control se considera natural cuando se refiere a la acción de los enemigos biológicos, sin la intervención del hombre y se le denomina artificial o aplicado cuando de alguna manera, es afectado o manipulado por el hombre.

#### 2.3.3.1 Control biológico del “fouling”

Los caracoles (*Littorina littorea*), han mostrado que controlan el “biofouling” de las infraestructuras y del “stock” de ostras, mejorando las tasas de crecimiento de las misma hasta en un 30%. Por otro lado, mantienen el intercambio de agua y el suplemento de alimento. Sin embargo, para especies de “fouling” no algales se requieren depredadores como cangrejos para su control. El molusco gasterópodo *Nucella lapillus*, también ha sido utilizado en los cultivos de bivalvos, reduciendo la presencia de mejillones y aumentando la supervivencia del “stock”. Incluso los peces para el control de ascidias en contenedores para bivalvos y para algunos copépodos (piojos de mar) en las redes de las granjas de salmones. El uso de especies depredadoras requiere precaución ya que estos pueden generar potenciales efectos predatorios sobre las especies cultivables (CRAB, 2006).

Algunos estudios realizados por Watson *et al.* (2005), en el suroeste de Irlanda, identificaron una gran cantidad de pastoreadores en cultivo de bivalvos. Estos ensayos, se centraron en el caracol gasterópodo (*Monodonta lineada*), y en el 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” en contraste con especies de 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 (figura 4). Algunos estudios, han señalado hasta un 74%



de la reducción en las infraestructuras y un 71% en las conchas (incluyendo la reducción de cirrípedios y gusanos tubícolas) (CRAB, 2006).



**Figura 4.** Organismos biocontroladores (*Lytechinus variegatus*) sobre *N. nodosus*.

Estudios realizados en la Isla de "Man" (Irlanda), con los erizos (*Echinus esculentus* y *Psammechinus miliaris*) como biocontroladores en el cultivo de *Pecten maximus* reportan como ambas especies de erizos logran reducir el "fouling" tanto en estructuras de cultivo como en valvas de los animales (reducciones  $\geq 50$  %), resultando muy satisfactorios para la explotación comercial de *P. maximus* (Ross *et al.*, 2004). También, ciertos ensayos en cultivos intermedios de la vieira *Pecten maximus* y la ostra *Ostrea edulis* en bahía Mulroy (Irlanda), los cuales estaban sujetos a altas tasas de mortalidad debido a la presencia del mejillón *Mytilus edulis*, emplearon como control biológico al gasterópodo *Nucella lapillus* quién en gran medida favoreció la supervivencia con mortalidades  $\leq 3$  % (Minchin y Duggan, 1989).

Otro trabajo destacado fue el realizado por Lodeiros y García (2004), donde utilizaron como organismos controladores, erizos de las especies *Lytechinus variegatus* y *Echinometra lucunter* para reducir el "fouling" del sistema de cultivo y sobre las valvas de *Pinctada imbricata*, obteniendo una reducción significativa del "fouling" tanto en artes de cultivo como en la especie cultivable,



por parte de *L. variegatus* (74%) en contraste con *E. lucunter* que presentó valores de reducción menores (45%).

## 2.4. Descripción de las especies biocontroladoras

### *Lytechinus variegatus*

Este erizo se caracteriza por poseer espinas de tamaño corto afiladas, de diversos colores, violeta, verde claro o blanco amarillento, alcanza un diámetro total de 110 mm (figura 5). El cuerpo es hemisférico con los lados ligeramente curvados y compuesto por pequeños tubérculos (Hendler *et al.*, 1995). El caparazón es ligeramente subcónico, presenta tubérculos de las áreas ambulacrales e interambulacrales dispuestos en hileras verticales, regulares y muy próximos entre sí. La membrana bucal está completamente cubierta de grandes placas (Caso, 1978).



**Figura 5.** *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816).

Se distribuye desde el sureste de los Estados Unidos hasta Brasil (Hendler *et al.*, 1995), habita principalmente en fondos con praderas de pastos marinos (*Thalassia testudinum*), también en fondos arenosos o fangosos. Puede encontrarse hasta 250 m de profundidad, pero es más común a 20 m (Gómez, 1999, 2003). A menudo sus individuos se ocultan con ayuda de pedicelarios y sus ambúlacros cubriendo sus caparazones con algas (Caso, 1978). La base de su alimentación corresponde a material vegetal (praderas de pastos), aunque llega a alimentarse de epibiontes y material orgánico disuelto, su



comportamiento oportunista, es característico en los echinoideos (Lawrence, 1987).

### ***Echinometra lucunter***

Esta especie alcanza un máximo de 150 mm de diámetro, sin embargo, la mayoría de los individuos logran la mitad de esta talla. Poseen un cuerpo elongado de forma oval; presenta color muy variable, desde el pardo rojizo, púrpura a pardo verduzco (figura 6). Las espinas son largas, gruesas en la base y delgadas a medida que se despliegan, el color general de estas es negro, aunque algunos especímenes presentan tonalidades rojas (Hendler *et al.*, 1995). Se localiza en la zona mesolitoral, entre los 20 cm sobre el nivel del mar y los 100 cm por debajo de este (Schoppe y Werding, 1996). Son organismos excavadores que se aferran fuertemente al sustrato, permitiéndoles resistir las corrientes marinas (Hendler *et al.*, 1995). Generalmente, prefiere puntos expuestos donde hay rompiente de ola, ya que en esta zona hay muchas macroalgas y reside la mayor oferta de plancton. Sus hábitos excavadores son bien reconocidos en especial, sobre litorales rocosos carbonatados (Monroy y Solano, 2005). Esta especie se destaca, por ser un removedor primario de sedimentos y detrito en el mar (Beltrán *et al.*, 1988).



**Figura 6.** *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758).

### **3. PROBLEMA DE INVESTIGACION**

El cultivo piloto experimental de bivalvos instalado en la Bahía de Neguanje, Parque Nacional Natural Tayrona se enfrenta a problemas de invasión por parte del "fouling", quién se incrusta en las estructuras del cultivo, así como



en la concha de los animales, obstruyendo el flujo del agua a través de las redes, reduciendo de esta manera la disponibilidad de alimento y oxígeno, provocando un efecto negativo tanto en el crecimiento, como en la supervivencia de los organismos, a su vez demanda un gran esfuerzo ya que su eliminación se hace a través del retiro manual, por lo tanto el propósito de este estudio es evaluar la efectividad de los erizos de mar *Echinometra lucunter* y *Lytechinus variegatus*, como controladores biológicos del "fouling" presente en redes de cultivo y en el pectínido *Nodipecten nodosus*

### 3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la efectividad de los erizos de mar *Echinometra lucunter* y *Lytechinus variegatus* utilizados como controladores biológicos del "fouling" en las redes de cultivo suspendido y sobre las valvas de bivalvos en la Bahía de Neguanje.
- Determinar la densidad (dos o cuatro individuos por piso de mini-linterna) de erizos más favorable para controlar la biocolonización.
- Identificar al menor nivel taxonómico posible, los organismos que hacen parte del "fouling" en las valvas de los animales, así como en las redes de cultivo en la estación piloto.

### 4. HIPOTESIS

- El control biológico logra reducir el "fouling" que se encuentra sobre las redes y los animales en cultivo, resultando en un incremento en el crecimiento, calidad y supervivencia de las poblaciones.
- La especie *L. variegatus* provoca mejores resultados que *E. lucunter* para reducir el efecto de los organismos del "fouling".
- El aumento de la densidad de erizos como agentes controladores, logra disminuir la biocolonización por organismos epibiontes.



## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Área de Estudio

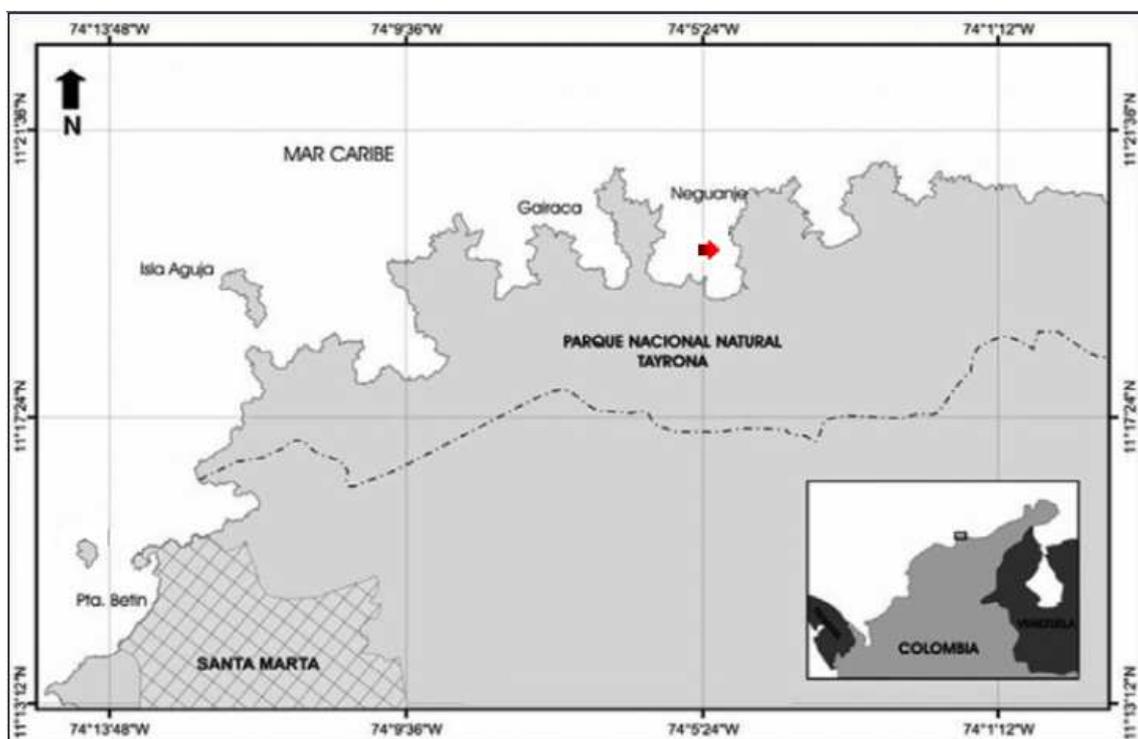
La Bahía de Neguanje, hace parte del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), departamento del Magdalena, se ubica hacia la parte nororiental de la costa Atlántica colombiana (figura 7). Se sitúa entre las coordenadas 11°19'43,7" N y 74°04'43,2" W (latitud norte) y 11°19'33,5" N y 74°04'39,3" W (latitud oeste), es una de las bahías más diversas, producto de la influencia directa que tiene de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. Además es considerada la bahía más grande del PNNT y está situada hacia la parte central de su extensión (Garzón y Cano, 1991).

Se caracteriza por una formación arrecifal somera dispuesta en parches, donde suelen desarrollarse formaciones coralinas aisladas, delimitadas por las condiciones arenosas y limosas del sedimento. Un relieve poco escarpado da lugar a una zona predominada por aguas someras, una formación arrecifal dominada por lagunas y una cresta que actúa como barrera en contra del oleaje, donde además el aporte de nutrientes de ecosistemas aledaños como el rodal de mangle y las praderas de pastos surten efectos sobre la diversidad faunística al interior del arrecife (Díaz *et al.*, 2000). Una característica propia de la bahía es la influencia de aguas dulces, producto de los aportes de sedimentos orgánicos de la quebrada Rodríguez. Junto a la quebrada se encuentra una zona rocosa con pendiente brusca seguida por una ensenada de aguas someras conocida como playa pescador adyacente a la cual se levanta una formación rocosa que la separa de playa cristal, la cual se encuentra ubicada entre los 11°19'33,5"N y 74°04'39,9", y se caracteriza por presentar diferentes tipos de fondos y formaciones coralinas, con un litoral sedimentario bajo, con fondo poco pendiente y una variedad de ecosistemas (González y Rojas, 1999).

El clima para el área de estudio, se encuentra regido por los patrones generales que influyen la costa Caribe colombiana. Cuando la zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se desplaza norte-sur, define las épocas climáticas seca y lluviosa, siendo de diciembre a abril época seca y de mayo a noviembre época lluviosa, respectivamente. Al desplazarse al sur la ZCIT, la



región se encuentra bajo la influencia de los vientos Alisios del noreste que son reforzados por diferentes eventos locales y al norte, se produce una disminución en la velocidad de los vientos Alisios, además de favorecer las precipitaciones en la región (Franco, 2005).



**Figura 7.** Mapa del área de estudio, Parque Nacional Natural Tayrona, la flecha roja indica la estación de cultivo piloto de *N. nodosus* del INVEMAR en la bahía de Neguanje (modificado de Manrique- Rodríguez *et al.*, 2006).

## 5.2 Ensayos preliminares

Se realizaron ensayos preliminares para evaluar la supervivencia de los erizos de mar *Echinometra lucunter* y *Lytechinus variegatus* durante su instalación en las redes de cultivo (mini-linternas), así mismo se observó las densidades de cultivo usadas (30%), como la utilización de técnicas de remoción directa, y ajuste de selección de medidas (talla y peso) de los pectínidos en húmedo (cuerpo internamente sin agua), teniendo en cuenta períodos de acondicionamiento (cinco minutos) para cada uno de los animales, con el objetivo de minimizar la variabilidad de los datos.



## 5.3 Materiales

### 5.3.1 Artes de cultivo

Las mini-linternas se elaboraron con materiales nuevos 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 es de 1257 cm<sup>2</sup>, separados verticalmente a 20 cm y forradas con malla de "nylon" de color negro de 1 cm de ojo de luz (figura 8).



**Figura 8.** Artes de cultivo tipo mini-linternas empleadas para el cultivo suspendido de *N. nodosus* en la región de Santa Marta, Caribe colombiano.

### 5.3.2 Obtención de animales

#### Organismos biocontroladores

Se colectaron por medio de buceo autónomo, procedentes de poblaciones del área de estudio (bahía de Neguanje), con rangos similares de talla (diámetro de la testa) entre 40 y 65 mm para *E. lucunter* y 40 y 60 mm para *L. variegatus*.

#### Bivalvos marinos (Pectínidos)

Se usaron animales con un rango de talla entre 60 y 105 mm de longitudes promedio, procedentes de semilla captada del medio natural a través de colectores artificiales instalados en la estación de cultivo piloto (bahía de



Neguanje). Las valvas de los pectínidos fueron revisadas tanto externamente como internamente, con el fin que no presenten signos de estrés o invasión y así minimizar la variabilidad (Lodeiros y García, 2004).

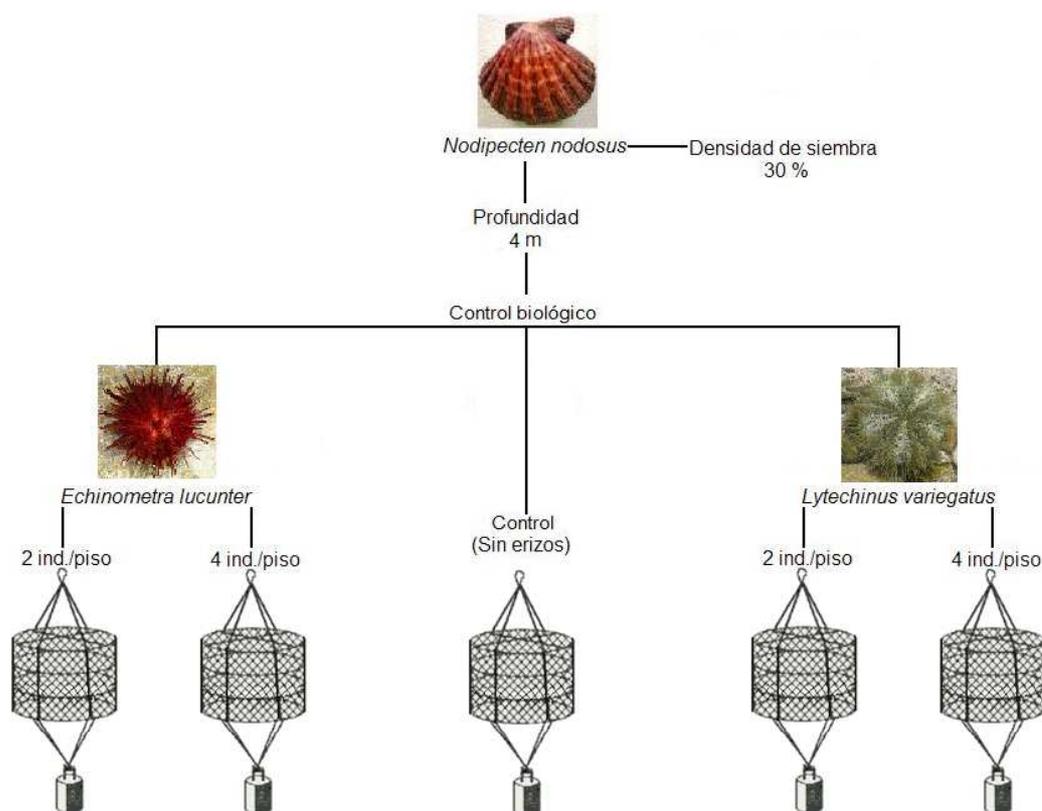
#### **5.4 Procedimiento en campo**

El estudio abarcó una fase inicial en la cual se ejecutaron los ensayos preliminares (período 1: diciembre 2008 a marzo 2009), seguidamente se procedió con la adecuación de la estación y el montaje de los experimentos. Se realizaron 20 salidas de campo en las cuales se colectaron los erizos *E. lucunter* y *L. variegatus*, que actuaron como biocontroladores, manejando dos densidades de siembra (dos y cuatro individuos por piso de mini - linterna). Se realizó el montaje del experimento, seleccionando los pectínidos de las linternas de engorde y los erizos registrando su peso (g) y longitud (mm) inicial e instalando las mini-linternas en una de las líneas principales de la estación de cultivo suspendido a cuatro metros de profundidad. El segundo período fue entre abril y julio de 2009.

#### **5.5 Diseño muestral y análisis estadístico**

Los experimentos se diseñaron para evaluar la abundancia del "fouling" en presencia o ausencia de erizos. Los efectos de cada especie se estudiaron separadamente. La unidad experimental consistió en las mini-linternas y se utilizaron tres replicas por tratamiento con base en la disponibilidad de los pectínidos de la estación de cultivo, al evaluar la colonización en los pectínidos, la pseudo replicación se omitió usando la media ( $\Sigma$ ) como resultado en cada mini- linterna, en lugar de datos individuales.

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. Control (sin erizos) y 4 y 5 *L. variegatus* con una densidad de dos y cuatro individuos por piso de mini-linterna. (Figura 9).



**Figura 9.** Esquema del control biológico del "fouling", durante el cultivo suspendido de *N. nodosus* en la región de Santa Marta, Caribe colombiano.

Para evaluar la efectividad de los erizos, se obtuvo el peso total del "fouling", pesando las linternas antes y después del despliegue (linternas limpias y biocolonizadas) en seco y húmedas (Ross *et al.*, 2004), así mismo se estableció una escala de evaluación cualitativa (composición y distribución de biocolonización), posteriormente se suspendieron las mini-linternas a una profundidad de 4 m, en el sistema de cultivo (long-line) por un período de 50 días. Al finalizar el experimento se registró la talla (longitud de la concha), peso en húmedo (g) de los pectínidos, diámetro de la testa (mm) y peso (g) de los erizos y se estableció la supervivencia tanto de los pectínidos como de los erizos.

Además se colectaron las valvas de *N. nodosus* colonizados y organismos colonizadores de las mini-linternas, que se fijaron en formalina al 10% en agua de mar, para la posterior identificación hasta el menor nivel taxonómico posible



de los organismos componentes del "fouling" en el laboratorio (Pacheco y Garate, 2005).

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, bivalvos, erizos y para el aumento de talla de los organismos biocontroladores y los bivalvos. 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 ( $P \geq 0,05$ ), así como la homogeneidad de varianzas con el test de Bartlett ( $P \geq 0,05$ ). Para comparar los tratamientos se realizaron pruebas de análisis de varianza a una vía (ANOVA) con su posterior "test" de comparación múltiple ( $\alpha = 0,05$ ). Todos los cálculos se llevaron a cabo por medio del programa estadístico Statgraphics Plus 5.0 (Zar, 1984).

## 6. RESULTADOS

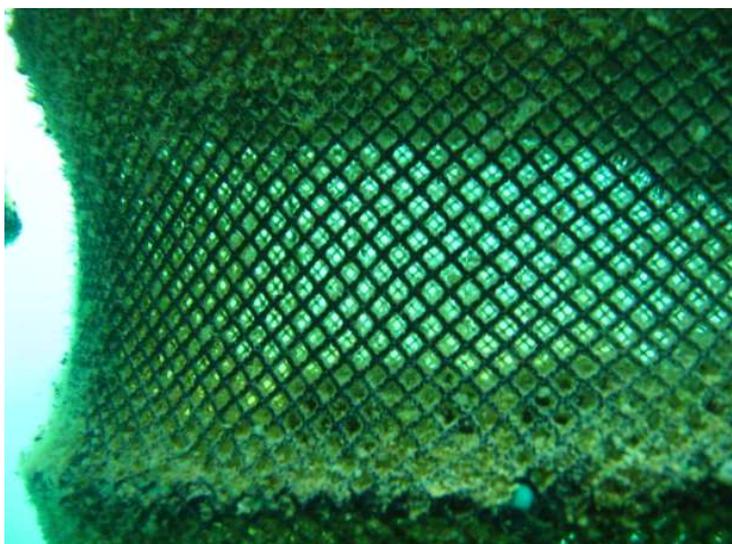
### 6.1 Cobertura del "fouling" en las artes de cultivo

La distribución del "fouling" en las artes de cultivo se establece tanto en la cara superior como inferior de las mini-linternas, es decir, la proliferación de epibiontes y la incrustación de materia orgánica disuelta, en gran parte se observó en toda la red del arte de cultivo (figura 10). La cobertura del "fouling" estuvo directamente influenciada por la acción de los erizos porque redujeron los efectos de la cobertura total del "fouling" en las superficies de las artes de cultivo (figura 11).

Este patrón de comportamiento se observó simultáneamente en ambos períodos estudiados (período 1: diciembre 2008 a marzo de 2009; período 2: abril a julio de 2009). Así mismo, las mini-linternas (sin erizos) o tratamiento control se colonizaron progresivamente hasta colmatar la malla, causando seguramente la disminución del flujo de agua hacia el interior del arte de cultivo (figura 12).



**Figura 10.** Distribución del "fouling" en las artes de cultivo (mini-linternas) del cultivo suspendido del pectínido *N. nodosus*



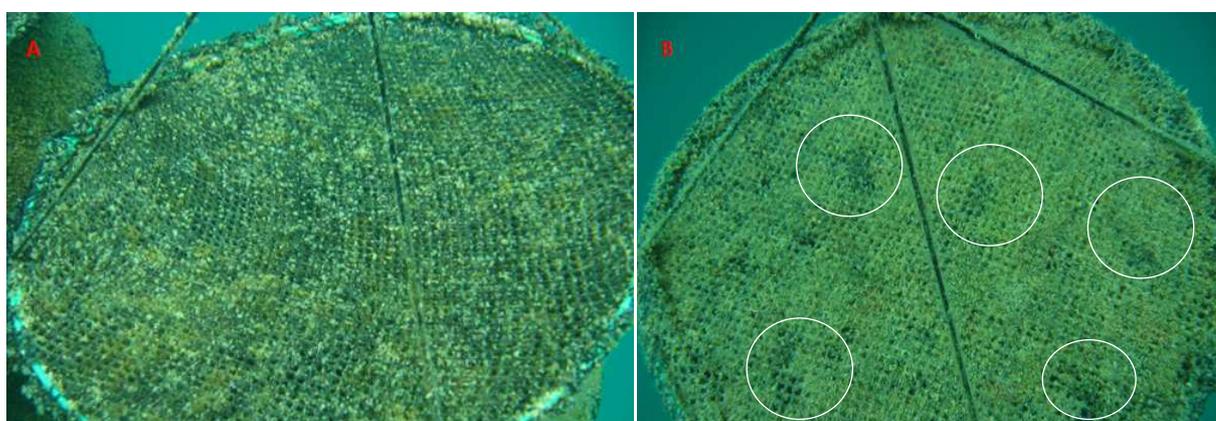
**Figura 11.** Reducción de la cobertura del "fouling" en la red por parte de los erizos.



**Figura 12.** Tratamiento control (sin erizos), donde la cobertura del "fouling" es mayor.

## 6.2 "Fouling" en las artes de cultivo

Los tratamientos que involucraron la acción de los biocontroladores, redujeron la cobertura del "fouling" en las superficies internas de la red, en contraste con las caras externas. Así mismo las mini-linternas que tenían mayor densidad de erizos redujeron el "fouling" en las superficies internas significativamente, respecto de las artes de cultivo con menor densidad de erizos. El tratamiento con *L. variegatus* mostró una mayor efectividad en el control biológico del "fouling", ya que su acción se desarrolló a lo largo de la mini-linterna (figura 13A), en comparación con *E. lucunter* quién actuó de manera más sectorizada en la red (figura 13B).



**Figura 13.** Tratamiento con *L. variegatus* (A) y con *E. lucunter* (B). Los círculos indican los sectores menos poblados por organismos asociados al "fouling".



El incremento del peso (g) en las artes de cultivo se evaluó teniendo como referencia el aumento del peso (g) en seco, cabe mencionar que a lo largo de la ejecución del procedimiento (periodo 2) se añadió una prueba simultánea que consistió en registrar los valores de incremento en húmedo.

La evaluación del incremento en peso húmedo del "fouling" en las artes de cultivo con la presencia de erizos presentaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos control (mini-linternas sin erizos) (ANOVA,  $P \leq 0,5$ ; tabla 1). Con *E. lucunter* (Duncan,  $P \geq 0,05$ ) se obtuvieron los promedios más bajos de peso húmedo de la red con 825 g (2 ind/piso) y 616 g (4 ind/ piso) comparado con los tratamientos sin erizos que fue de 925 g.

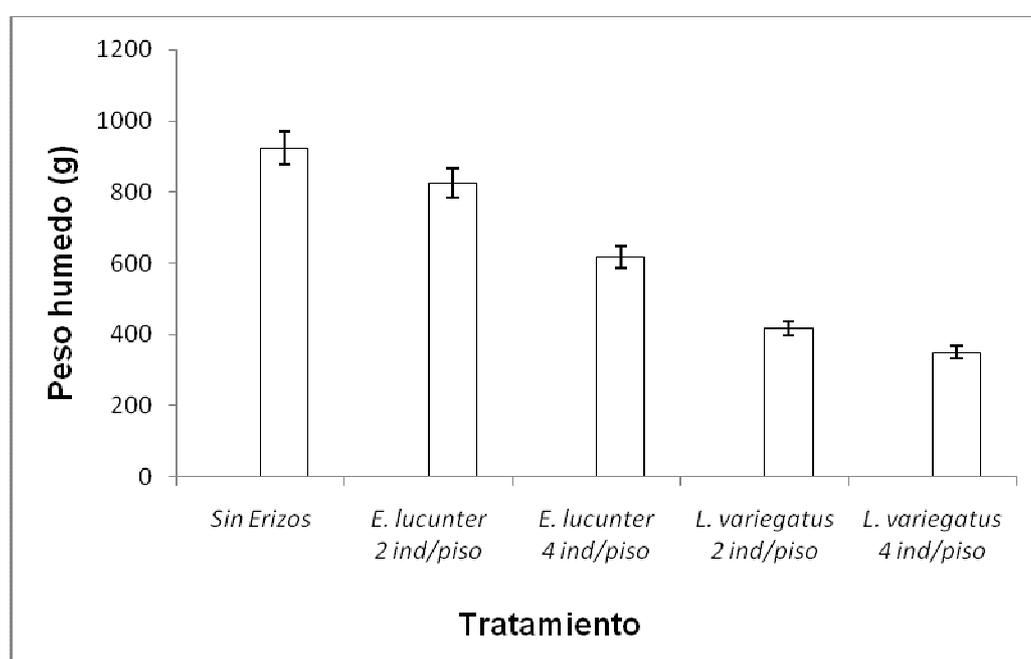
*Lytechinus variegatus*, presentó los valores más bajos de "fouling" en las artes de cultivo con 417 g (2 ind/piso) y 350 g (4 ind/piso) (figura 14). Esto indica que existieron diferencias significativas entre las especies de erizos y entre las densidades empleadas (2 y 4 ind/ piso), exceptuando el tratamiento de *E. lucunter* (2 ind/ piso) al no observar diferencias significativas respecto al tratamiento control. Con relación al peso seco de las artes de cultivo, para los dos períodos, mostró que el menor valor correspondió al primer período con *L. variegatus* (197 y 195 g, 2 y 4 ind/piso respectivamente) (ANOVA,  $P \leq 0,05$ ; tabla 2); mientras que *E. lucunter* presentó los valores más altos con 323 (2 ind/piso) y 298 g (4 ind/ piso), comparado con los tratamientos sin erizos, que fueron los valores más altos del "fouling" 417 g (figura 16).

El segundo período, presentó el mismo comportamiento para *L. variegatus* con 153 g (2 ind/piso) y 96 g (4 ind/piso) (ANOVA,  $P \leq 0,05$ ; tabla.3). Con relación a *E. lucunter*, los valores promedio de peso húmedo de la red se incrementaron a 247 y 147 g, para 2 y 4 ind/ piso, respectivamente. Para los tratamientos sin erizos, el peso seco de la red (incrustaciones de "fouling") fue el más alto con 287 g (figura 15).



**Tabla 1.** Análisis de varianza a una vía del incremento en peso húmedo (g) causado por el "fouling" en las mini-linternas durante el segundo período.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F- Estadístico	P- Valor
Tratamiento	747250	4	186813	13,88	0,0004
Residual	134583	10	13458,3		
Total	881833	14			



**Figura 14.** Incremento del peso húmedo (g) causado por el "fouling" en las mini-linternas) durante el segundo período.

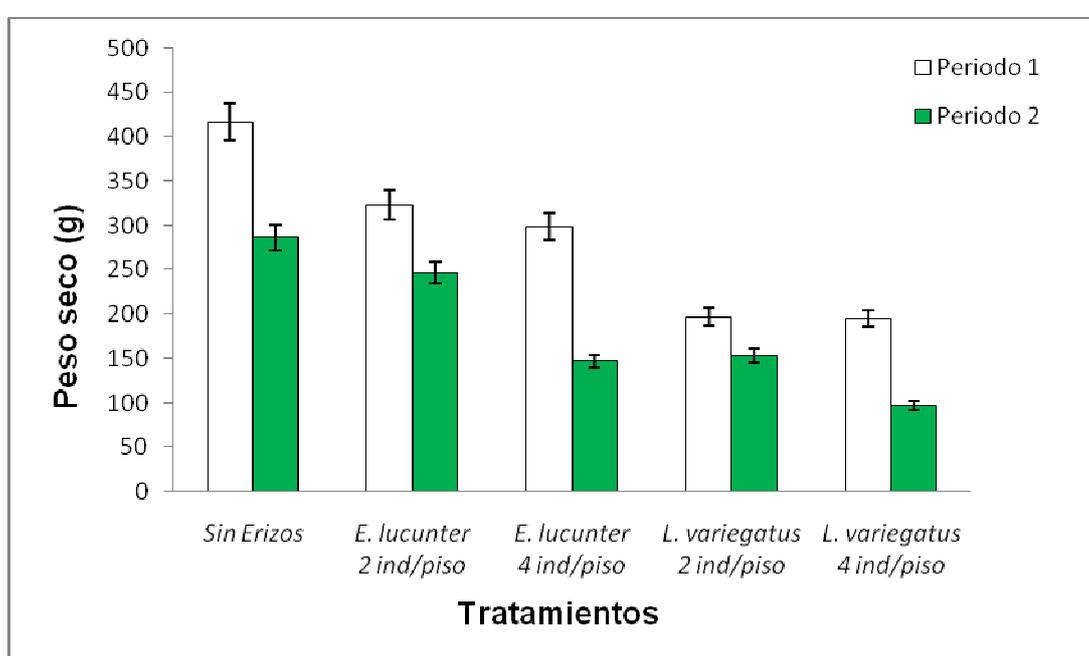
**Tabla 2.** Análisis de varianza a una vía del incremento en peso seco (g) causado por el "fouling" en las artes de cultivo en el primer período.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F- Estadístico	P- Valor
Tratamiento	104643	4	26160,8	25,11	0,0000
Residual	10416,7	10	1041,47		
Total	115060	14			



**Tabla 3.** Análisis de varianza a una vía del incremento en peso seco (g) causado por el "fouling" en las artes de cultivo para los diferentes tratamientos en el segundo período.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F- Estadístico	P- Valor
Tratamiento	73226,7	4	18306,7	3,68	0,041
Residual	49733,3	10	4973,33		
Total	122960	14			



**Figura 15.** Incremento del peso en seco (g) causado por el "fouling" en las mini-linternas en los períodos de estudio.

### 6.3 "Fouling" sobre las valvas de *N. nodosus*

Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos para la evaluación del "fouling" sobre las valvas de los pectínidos, en presencia y ausencia de erizos (ANOVA,  $P \leq 0,01$ ; tabla 5). Los valores más bajos de colonización de "fouling" (3,66 y 9,66 g para 4 y 2 ind/ piso) se observó en el tratamiento con la *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 un peso de 15,25 g (figura 16). Sin embargo, solo el tratamiento con *L. variegatus* (4 ind/piso) mostró mayor



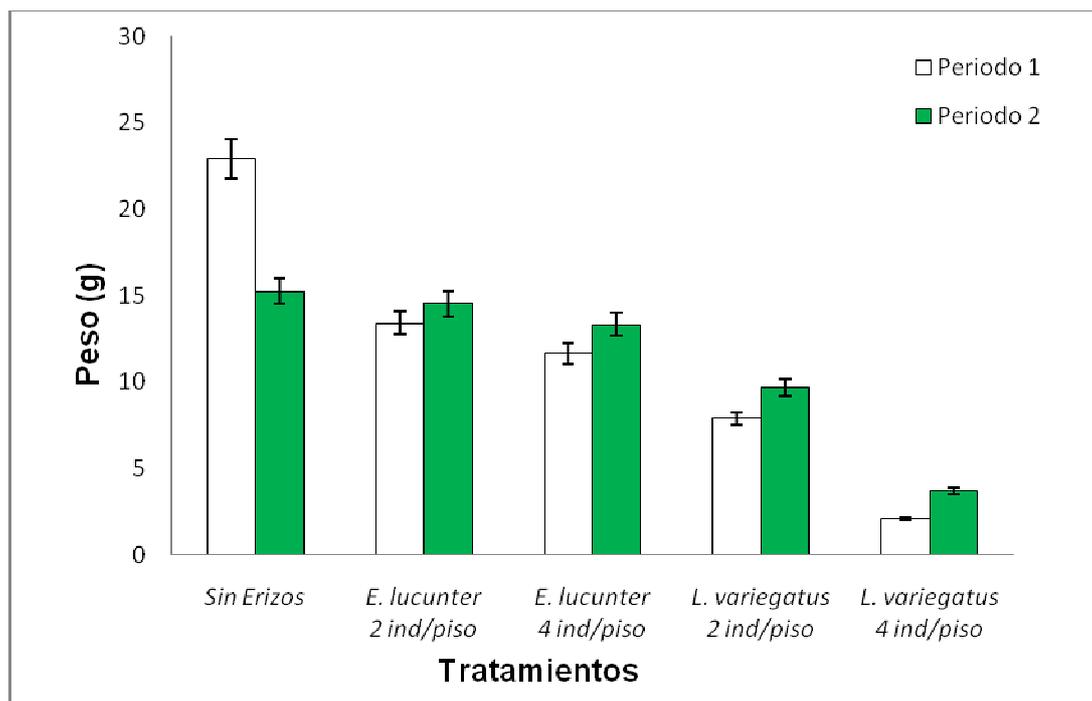
control biológico del "fouling" sobre las valvas de los pectínidos (Duncan,  $P \geq 0,05$ ). También, se registró en el primer período valores similares, observando diferencias significativas entre los tratamientos con y sin erizos (ANOVA,  $P \leq 0,01$ ; tabla 4), donde *L. variegatus* presentó los mejores resultados contra los epibiontes (2,09 y 7,87 g para 4 y 2 ind/ piso) (Duncan,  $P \geq 0.05$ ), mientras que con *E. lucunter*, el peso de las redes se incrementó (11,64 y 13,38 g para 4 y 2 ind/ piso) y el tratamiento control (sin erizos) fue el valor más alto de todos con 22,93 g (figura 16).

**Tabla 4.** Análisis de varianza a una vía del incremento en peso (g) causado por el "fouling" en las valvas de *N. nodosus* durante el primer período.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F- Estadístico	P- Valor
Tratamiento	2160,86	4	154,347	11,63	0,000
Residual	398,22	10	13,274		
Total	2559,08	14			

**Tabla 5.** Análisis de varianza a una vía del incremento en peso (g) causado por el "fouling" en las valvas de *N. nodosus* durante el segundo período

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F- Estadístico	P- Valor
Tratamiento	1084.27	4	77.4481	3.37	0.0026
Residual	689.888	10	22.9963		
Total	1774.16	14			



**Figura 16.** Incremento del "fouling" presente sobre las valvas de *N. nodosus* en los períodos de estudio.

#### 6.4 Crecimiento y supervivencia de los bivalvos

Al evaluar el crecimiento de *N. nodosus*, se observó diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA,  $P \leq 0,01$ ; tabla 6) en los dos períodos (ANOVA,  $P \leq 0,01$ ; tabla 7). El crecimiento de los bivalvos, expresado por la longitud valvar; evidenció efectos positivos para los tratamientos en donde se empleó *L. variegatus*, con aumentos de 5,08 y 2,18 mm para cada una de las densidades utilizadas (4 y 2 ind/piso). Sin embargo, con *E. lucunter*, la longitud de *N. nodosus* aumentó en menor proporción 1,51 y 1,25 mm, respectivamente; mientras para el tratamiento control solo se incremento 1,01 mm durante el primer período. Para el segundo período el comportamiento fue similar, pero el crecimiento registrado fue mayor en presencia de las dos especies de erizos: *L. variegatus*: 7,25 y 5,22 mm con 4 y 2 ind/piso y *E. lucunter*: 2,48 y 2,77 mm con 4 y 2 ind/piso; sin erizos el crecimiento fue de 2,33 mm (figura 17).

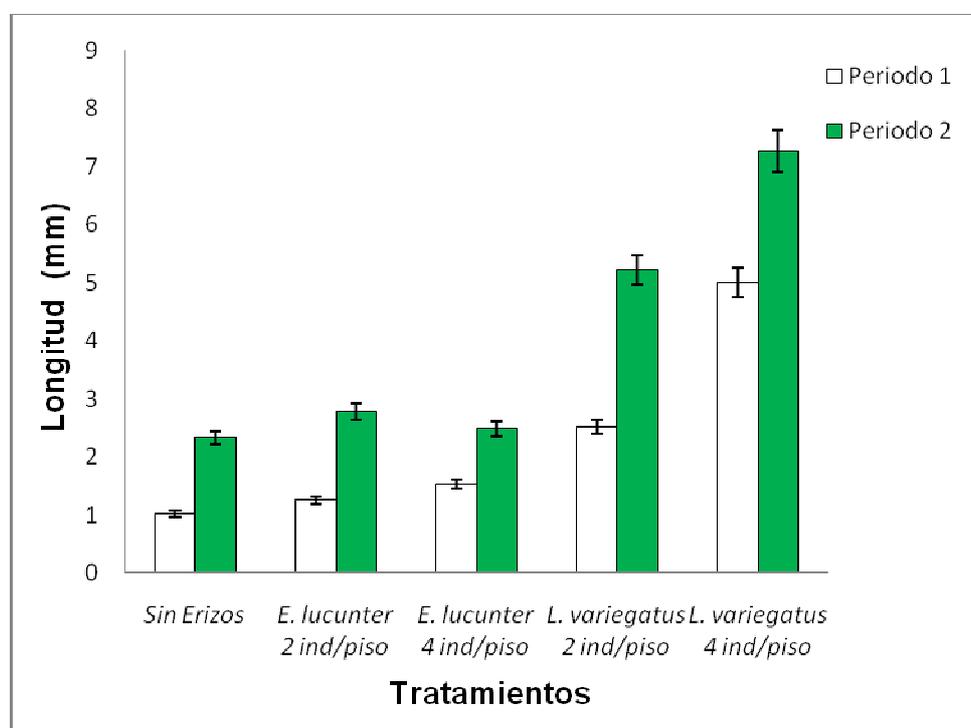


**Tabla 6.** Análisis de varianza a una vía del crecimiento (longitud mm) de *N. nodosus* durante el primer período.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F- Estadístico	P- Valor
Tratamiento	102,683	4	7,33448	8,70	0,000
Residual	25,2778	10	0,842593		
Total	127,96	14			

**Tabla 7.** Análisis de varianza a una vía del crecimiento (longitud mm) de *N. nodosus* durante el segundo período.

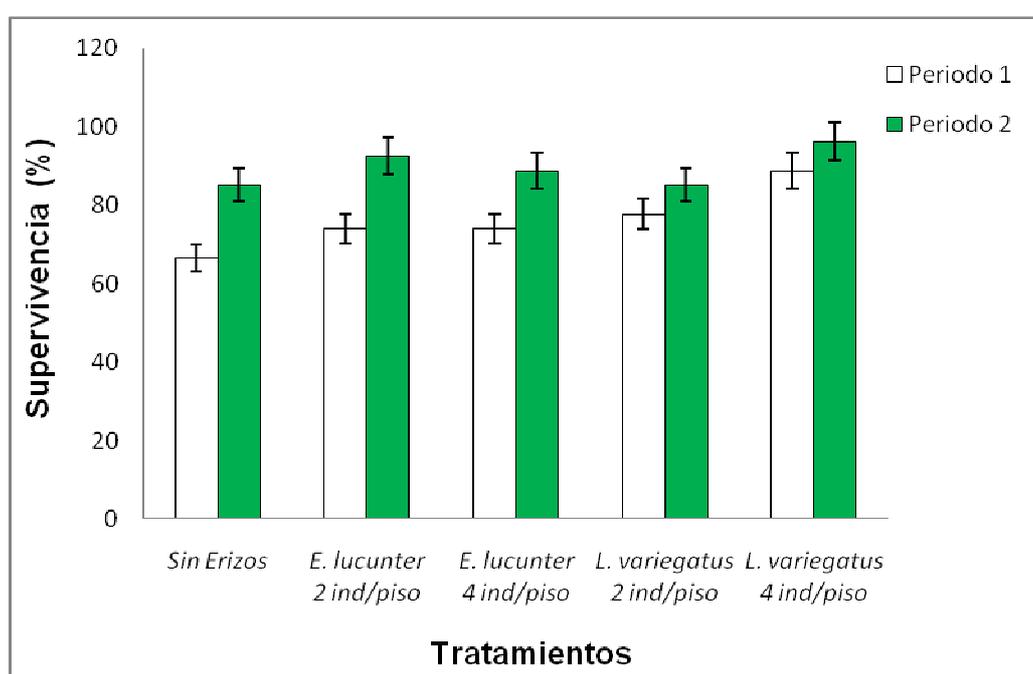
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F- Estadístico	P- Valor
Tratamiento	207,22	4	14,801	2,48	0,018
Residual	178,963	10	5,9654		
Total	386,183	14			



**Figura 17.** Talla alcanzada por *N. nodosus* durante los períodos de estudio .



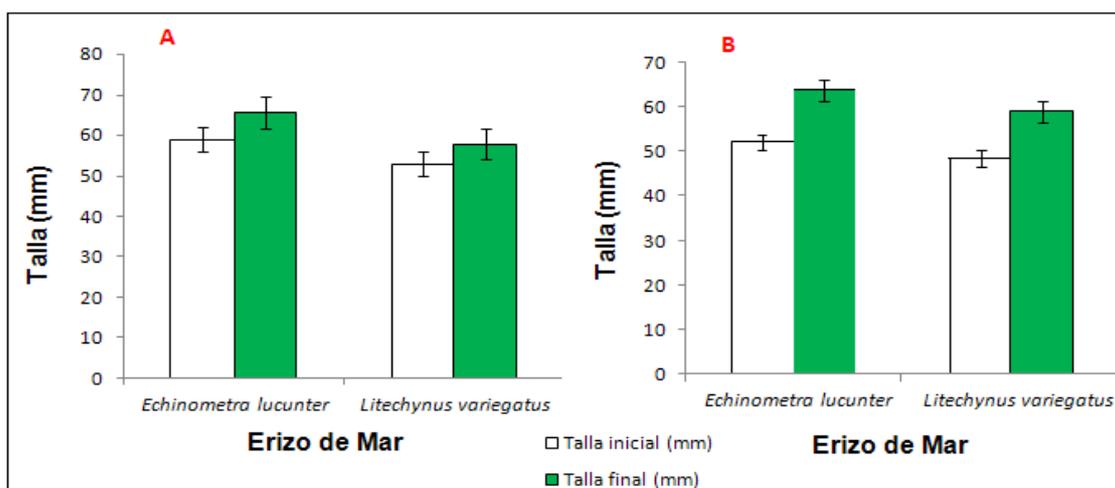
La mayor supervivencia durante el primer período, se observó en los ensayos realizados con *L. variegatus* (88,83 y 77,78% densidad de 4 y 2 ind/piso respectivamente); con *E. lucunter* la supervivencia disminuyó en ambas densidades con un 74%, seguida del control con el 66,69%. Durante el segundo período, la supervivencia para todos los ensayos fue más alta principalmente con *L. variegatus* (96,26 y 92,53%, densidad de 4 y 2 ind/piso) (figura 18). Vale la pena mencionar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA,  $P \geq 0,05$ ), tanto en el primer como en el segundo período.



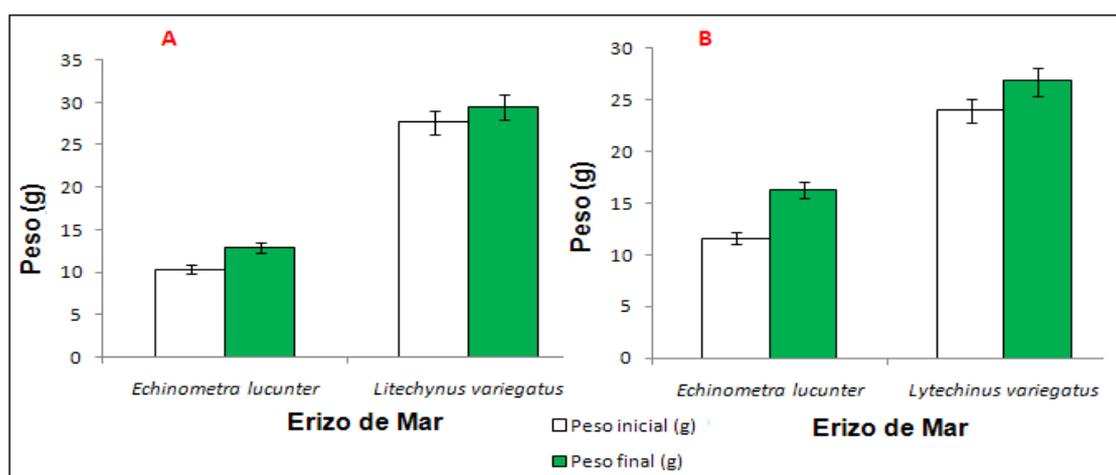
**Figura 18.** Supervivencia de *N. nodosus* durante los períodos de estudio.

### 6.5 Crecimiento y supervivencia de los erizos de mar

Al final del experimento todos los erizos empleados como biocontroladores sobrevivieron; los datos obtenidos de talla y peso evidenciaron un incremento lo que significa que aprovecharon el "fouling" adherido a las mini-linternas y valvas de los organismos. En el primer período, el crecimiento (diámetro de la testa) para los erizos fue de 6,7 mm para *E. lucunter* y 4,9 mm para *L. variegatus* y en el período dos fue de 11,6 y 10,5 mm, respectivamente (figura 19). En cuanto al peso (g), se observó un aumento de 2,5 y 1,8 g para *E. lucunter* y *L. variegatus* durante el primer período, mientras que en el segundo fue de 4,7 y 2,8 g (figura 20)...



**Figura 19.** Diámetro (mm) de la testa alcanzado por los erizos de mar. (A) primer período y (B) segundo período.



**Figura 20.** Incremento del peso (g) de los erizos de mar. (A) primer período y (B) segundo período.

## 6.6 Especies predominantes

Se identificaron un total de 26 organismos asociadas a las redes de cultivo y valvas de *N. nodosus* registradas durante el desarrollo del procedimiento (periodo 2) (Tabla 8). Los individuos presentes correspondieron a ocho grupos taxonómicos: Chlorophyta (1), Porifera (2), Cnidaria (1), Mollusca (8), Annelida (3), Arthropoda (8), Bryozoa (1) y Peces (2). Los organismos considerados como epibiontes estuvieron representados por diez especies (ANEXOS).



**Tabla 8.** Bioincrustantes encontrados en las mini-linternas y sobre las valvas de *N. nodosus* (epibiontes). Tratamiento; C = Control, E = *E. lucunter*, y V = *L. variegatus*. Abundancia; A = Abundante, C = Común, O = Ocasional, R = Raro.

Especie	Estructura	Tratamiento	Abundancia
<b>Algas</b>			
<b>CHLOROPHYTA</b>			
<i>Enteromorpha</i> sp.	Linterna - Epibionte	C	C
<b>Invertebrados</b>			
<b>PORIFERA</b>			
<i>Cliona</i> sp.	Linterna - Epibionte	C	O
<i>Leucosolenia coriacea</i>	Linterna - Epibionte	C, E	R
<b>CNIDARIA</b>			
<i>Stylochoplana</i> sp.	Epibionte	C, E	R
<b>MOLLUSCA</b>			
<i>Cymatium</i> sp.	Linterna	C,E,L	A
<i>Laevicardium</i> sp.	Linterna	C	O
<i>Leptopecten bayavi</i>	Linterna	C	O
<i>Perna perna</i>	Linterna	C	C
<i>Pinctada imbricata</i>	Linterna	C	A
<i>Pinna rugosa</i>	Epibionte	C	C
<i>Pteria colymbus</i>	Epibionte	C, E	C
<i>Trivia</i> sp.	Linterna	C	R
<b>ANNELIDA</b>			
<i>Hydroides</i> sp.	Epibionte	C	R
<i>Nereis</i> sp.	Linterna	E	O
<i>Polydora</i> sp.	Epibionte	C	R
<b>ARTHOPODA</b>			
<i>Balanus trigonus</i>	Linterna - Epibionte	C,E,L	A
<i>Callinectis sapidus</i>	Linterna	C,E,L	C
<i>Mithrax</i> sp.	Linterna	E	C
<i>Panulirus argus</i>	Linterna	C,	C
<i>Portunus xantusii</i>	Linterna	C,E,L	C
<i>Stenorhynchus seticornis</i>	Linterna	E	R
<i>Charybdis helleri</i>	Linterna	E	C
<i>Pilumnus</i> sp.	Linterna	C, E	C
<b>BRYOZOA</b>			
<i>Bugula</i> sp.	Epibionte	C	O
<b>Vertebrados</b>			
<b>PECES</b>			
<i>Aulostomus maculatus</i>	Linterna	E	R
<i>Pseudobalistes naufragium</i>	Linterna	C	R



## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Cobertura del "fouling" en las artes de cultivo

La inclusión de los controles biológicos en la industria de la acuicultura es muy baja, los ensayos realizados en este trabajo se corroboran lo señalado por otros estudios (Ross *et al.*, 2004; Lodeiros y García, 2004; Watson *et al.*, 2005 y CRAB, 2006), que evidencian los beneficios de los biocontroles en la reducción del "fouling" tanto en las artes de cultivo, como en las valvas de los animales cultivables, resultando en un aumento del crecimiento, calidad y supervivencia de los organismos.

Se ha demostrado que el primer paso en la acumulación de materia orgánica en un cultivo suspendido es un acondicionamiento que consta de una película química de compuestos (principalmente proteínas, proteoglicanos y polisacáridos). Este proceso ocurre en los primeros minutos del asentamiento biológico, después aproximadamente a las dos horas se produce la colonización por parte de las bacterias, el cual es denominado la película primaria. Las esporas de macroalgas y de otros organismos, aparecen justo después de la película primaria; por su parte existe un tercer grupo de colonizadores, entre los cuales se destacan tunicados, bryozoos, moluscos, crustáceos, hidroides entre otros, que prefieren asentarse sobre superficies recubiertas con agentes microbianos, tapetes de algas y materia orgánica (Arbazua y Jakubowski, 1995). Es de este modo como ocurre la aparición del "fouling" y que se confirma con los resultados obtenidos, en donde una vez transcurrido el período de experimentación (50 días) se observaron los grupos de organismos incrustantes mencionados, evidenciando según Velasco, (2008) eventos de sucesión ecológica, gracias a la creación de hábitats apropiados para el asentamiento de las especies, entre las que se destacan bryozoos, esponjas, moluscos, hidroides, poliquetos, cangrejos y peces.

En la acuicultura la tasa de incrustación depende de otros factores, tales como el tamaño de la red (ojo de luz) que se utilice para las estructuras de cultivo. La malla con medidas entre 0,64 y 1,27 cm puede verse afectada por el "fouling" entre los 7 y 14 días de ser sumergidas; mientras que las redes con un ojo de malla superior (entre 2,54 y 3,81 cm), después de uno o dos meses de su



puesta (FAO 2007b). La implementación de las min - linternas con un ojo de luz de 1 cm, utilizadas en este estudio se colmataron entre los 7 y 14 días de ser sumergidas. A su vez, cabe destacar cómo los filamentos que poseen las redes de las artes de cultivo, ofrecen un sustrato ideal para el establecimiento del "fouling" (Hodson *et al.*, 1997). En aguas tropicales, es recomendable limpiar las artes de cultivo por lo menos una vez al mes, dado que los organismos del "fouling" crecen rápidamente, por lo que se requiere realizar la limpieza manual que es costosa (Huang, 2000). Sin duda alguna una gran ventaja el empleo del control biológico para reducir el "fouling" es el hecho que no se necesita manejar el método de limpieza manual frecuente. Es decir, la inclusión de erizos como biocontroles llega a ser productiva, porque permite que las faenas de limpieza sean menos frecuentes, sin generar problemas para el cultivo suspendido de bivalvos, en donde a menudo se producen daños físicos a los equipos por abrasión del material o el aumento de su fragilidad, o por el aumento de la carga o arrastre. Constantemente resultan daños a la red con pérdida de los organismos en cultivo. Así como pueden obstruir las mallas, resultando en una reducción del flujo de agua, que puede causar estrés innecesario en los bivalvos debido a la privación de oxígeno y los desechos acumulados (Hincapié-Cárdenas, 2007).

## 7.2 "Fouling" en las artes de cultivo

En las industrias dedicadas al cultivo de bivalvos se hace abundante ese tipo de limpiezas, especialmente en períodos de afloramientos, en donde las altas concentraciones de organismos, llega a generar problemas de incrustación. Al impedir la acumulación de colonizadores en las artes de cultivo, aumentan los intervalos de limpieza, se reducen los costos laborales y la producción de los animales. Es así, como los valores promedio de incremento del peso (g) del "fouling" para las artes de cultivo son relativamente mayores en el primer período del año (286 g), caracterizado por la acción de un evento local de afloramiento de aguas subsuperficiales relativamente frías, el cual le imprime al área ciertas características ecológicas especiales, (Bula-Meyer, 1985; Ramírez, 1990 En: INVEMAR, 2000) en comparación al segundo período (186 g); sin embargo, para las valvas de los pectínidos los valores fueron similares con



11,5 y 11,2 g para el primer y segundo período, respectivamente, lo que permite evidenciar que la mayor reducción fue sobre las artes de cultivo y se manifiesta con la utilización de los erizos, destacándose significativamente *Lytechinus variegatus* en los dos períodos de estudio con los valores mas bajos de incrustación 2,1 y 3,6 g en una densidad de 4 ind/piso.

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 evidencian resultados positivos, sin embargo, la especie más prometedora para su utilización en cultivos corresponde a *L. variegatus*. Cabe mencionar que los erizos no solo reducen el "fouling" sino que son organismos que toleran su captura y manipulación, de modo tal que no se ven afectados. Ahora bien, el papel que cumplen a nivel de reducción de cobertura del "fouling" es muy importante; por que 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 logran una reducción en los pisos superiores, y siguen siendo aun más restringida la limpieza de las caras externas de la red. Parece probable que los erizos tienen aprietos en la limpieza de estas superficies debido a la dificultad para aferrarse o alcanzar estas superficies (Ross *et al.*, 2004). Sin embargo, el control biológico llega a fomentar 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 que se adhiere a la red.

El monitoreo del control biológico permite observar como el pastoreo elimina especies dominantes y materia orgánica presentes en las artes de cultivo; *L. variegatus* actúa directamente sobre material vegetal (*Enteromorpha* sp), de manera tal que logra reducir la cobertura del "fouling" y detritos a lo largo de la red, en comparación con *E. lucunter*, quién se alimenta particularmente de esponjas, macroalgas y masas calcáreas. La disminución de la cobertura vegetal, reduce la retención de detritus, y a su vez la heterogeneidad espacial. Puede entenderse entonces, que se establecen fluctuaciones de consumo, es



decir, existe 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. Es frecuente la utilización como fuente alimenticia del detritus, constantemente depositado por las corrientes, la utilización de estas estrategias, hacen más probable el hecho 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, y probablemente por procesos de exclusión competitiva solo logran dominar los competidores más eficientes del medio (Rodríguez y Losada, 1986). Específicamente, la alimentación de los equinoideos regulares puede afectar la composición y abundancia de sus presas y organismos asociados. Estos efectos de alguna manera se relacionan con la preferencia en su alimento, amplitud en su dieta y su capacidad de perturbación del medio. Es decir, *E. lucunter* permanece encerrado en sus refugios alimentándose solo en las áreas inmediatas a su microhábitat. Lo que permite pensar que su alimentación en las artes de cultivo es de manera sectorizada (Calva, 2003).

*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, incluidos bryozoos, moluscos, algas, crustáceos, espículas de esponjas y foraminíferos (Beddingfield y McClintock, 1998). Se sugiere que una dieta variada puede proporcionar una alta gama de nutrientes esenciales necesarios para una dieta generalista, se ha demostrado que una dieta rica en proteínas conduce a un rápido crecimiento de la gónada de *L. variegatus*, y el crecimiento refleja el contenido de proteínas, hidratos de carbono y lípidos en la dieta. (Hammer *et al.*, 2004). Corroborando los resultados en cada uno de los ensayos realizados en ambos períodos, es decir, esa preferencia alimenticia, sumada a las estrategias ya mencionadas, permiten evidenciar que *L. variegatus* posee mayor efectividad como control biológico del "fouling" que *E. lucunter* quién carece de la habilidad de eliminar los niveles de incrustación, es decir, la reducción la cual aplica



sobre las artes de cultivo está generando de igual forma un incremento en los colonizadores de las valvas de *N. nodosus*, los cuales se ven favorecidos, dados los hábitos alimenticios de este organismo, confirmando de esta manera como concluyen Lodeiros y García (2004), que la especie óptima para la utilización en cultivos suspendidos de bivalvos corresponde a *L. variegatus*.

### **7.3 "Fouling" sobre las valvas de *N. nodosus***

El "fouling" que se encuentra sobre las valvas de los animales inhiben la apertura de las valvas, como el caso de algunos tunicados, hidroides y poliquetos (Lodeiros y Himmenlman, 2000). Las conchas de los bivalvos en general, incluyendo los pectínidos, constituyen un sustrato duro para las especies de la comunidad del "fouling", a su vez este sustrato que genera el ambiente propicio para la incrustación de especies capaces de generar depósitos de materia orgánica (poliquetos, ascidias, bryozoos y esponjas), que conlleva a la formación de sustratos blandos, es decir, la acumulación de materia orgánica, puede dar lugar a una serie de interacciones entre los organismos del "fouling" (Mazouni *et al.*, 2001). Es ahí donde los erizos pueden actuar de modo tal que previenen problemas de incrustación y parasitismo, eliminando esos organismos, por eso la reducción existente del "fouling" sobre las valvas, en los dos períodos, evidencia diferencias significativas cuando se emplea el uso de los erizos. Estos beneficios, pueden ayudar a reducir los períodos de cultivo de los bivalvos, resultando en una reducción de los costos de producción no solo a nivel artesanal si no que también a escala comercial.

### **7.4 Crecimiento y supervivencia de los bivalvos**

Los resultados de crecimiento de los bivalvos, así como su supervivencia permiten evidenciar claramente, que *N. nodosus*, se ve directamente afectado por la acción del "fouling", quién interviene negativamente en su 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, es importante destacar que el ritmo acelerado de crecimiento del "fouling" es probablemente la característica de muchos ambientes costeros tropicales. Es de resultar, que 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 reporta 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 cultivables; de acuerdo con esto, los resultados sugieren que las densidades manejadas son consideradas óptimas en el control biológico del "fouling" al no generar inconvenientes en el cultivo (Flimlin y Mathis, 1993; Minchin, 1996).

Del mismo modo, la supervivencia de *N. nodosus*, evidenció cómo en el tratamiento control con los valores más bajos esta determinado por los organismos que hacen parte del "fouling", 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, por ejemplo, pueden interferir mecánicamente con la articulación de las valvas o generar un peso adicional de la parte superior de la concha causando un estrés al animal (Lodeiros y Himmelman, 1996). Los epibiontes tienen acción directa sobre los filamentos "bísales" de los bivalvos, dado que en muchos de los casos tienen una intervención perjudicial sobre los tejidos internos, causantes de altas mortalidades. Minchin y Duggan (1989), demostraron que la inclusión de biocontroladores en los cultivos 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.

### **7.5 Crecimiento y supervivencia de los erizos de mar**

Existen varios beneficios potenciales de la utilización de los erizos de mar para el control biológico; entre ellos se destaca el hecho de ser en su mayoría herbívoros generalistas (Lawrence, 1975) y que pueden ser adecuados para su utilización en cultivos suspendidos. Juegan un papel importante en la estructura



de las comunidades bentónicas litorales. También, provocan cambios en la cobertura vegetal, modificando los recursos tróficos, la estructura del hábitat, y afectando la presencia y abundancia de otros grupos animales como moluscos o peces. Se alimentan preferiblemente de material vegetal, tanto fijos al substrato como a la deriva (Tuya *et al.*, 2001). Es importante señalar que, ante la escasez de alimento se pueden comportar como un omnívoro, nutriéndose de todo tipo de propágulos, esporas, ya sean de origen vegetal o animal, así como de materia orgánica y detritus. Este comportamiento lo convierte en un competidor muy eficiente y adaptable a diferentes condiciones ambientales, que a su vez se pudo observar en los resultados, donde para ambos períodos de estudio, tanto *L. variegatus* como *E. lucunter* aumentaron considerablemente sus valores promedio de peso (7,7 y 9,2 g) y talla (diámetro de la testa 3,2 y 3,6 mm).

## 7.6 Especies predominantes

Dentro de los epibiontes existe una variedad de depredadores, entre los cuales se destacan los gasterópodos y los cangrejos decápodos y pueden llegar a generar altas mortalidades en el cultivo; sin embargo, el tiempo de ejecución de los ensayos (50 días) no permite alcanzar grandes tamaños de los depredadores y por tanto causar altas mortalidades, lo que se evidencia con el 76% de supervivencia para los experimentos realizados en el primer período y el 89% en el segundo; probablemente las características ecológicas (surgencia) que se le imprimen al área en el primer período del año, aumentaron los valores de incrustación, reflejados en un mayor número de organismos epibiontes y depredadores, así como altas concentraciones de materia orgánica, que quizás aumenten las probabilidades de efectos nocivos para *N. nodosus* (Vélez *et al.*, 1995). El mayor aporte de nutrientes (seston) ofrecido en el primer período de estudio permitió mayor aparición de organismos de diferentes especies incluidos como "fouling" de *N. nodosus* y por consiguiente mayor crecimiento y peso de los biocontroladores (erizos).

El reporte de 26 especies de bioincrustantes, es similar a otros estudios realizados en Latinoamérica (Pacheco y Garate, 2005), la fuente de variación



en el número de especies puede atribuirse a que algunos individuos que se desprenden del sustrato al ser manipulado desde su extracción del agua hasta el traslado al lugar de monitoreo. Las observaciones muestran que las estructuras de cultivo suspendido de *N. nodosus*, ofrecen sustratos para la colonización de especies incrustantes, que llegan a ocupar amplio espacio disponible; del mismo modo la concha de los pectínidos provee el lugar para que se asienten numerosos organismos. La mayoría de estas especies de moluscos son filtradoras (*Laevicardium* sp, *Leptopecten bayavi*, *Perna perna*, *Pinctada imbricata*, *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 coriácea*) y poliquetos como *Nereis* sp. (ANEXO B) 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, además, contribuyen en el deterioro e incremento del peso de las artes de cultivo. Por otra parte, las especies de invertebrados que conforman los incrustantes, son propias de hábitats intermareales y submareales, que aprovechan la disponibilidad de estas estructuras para colonizarlas (Paredes *et al.*, 1999; Romero *et al.*, 1988).

Ahora bien el "fouling" también pueden competir por los recursos directamente con los organismos en cultivo y puede incluir depredadores dentro de sus especies, como se observó en los resultados, con la presencia de *Polydora* sp, *Cymatium* sp, *Charybdis helleri*, *Callinectes sapidus*, *Pilumnus* sp, *Mithax* sp. y *Stenorhynchus seticornis* (ANEXO A), quienes pueden estar asociados de forma directa con la mortalidad de *N. nodosus*, (Ciocco y Orezanz, 2001). Entre los aspectos negativos que poseen los depredadores, se destaca la acción de los cangrejos, que trituran o ramonean las valvas de los pectínidos, así como la acción de algunos gasterópodos es el caso de *Cymatium* sp, que pueden taladrar la concha o inyectar una toxina, la cual actúa sobre el músculo aductor, impidiendo que el animal cierre las valvas y de esta manera atacan sus partes blandas. La depredación depende de aspectos como el tamaño de los bivalvos, abundancia de los depredadores, densidad de cultivo de los animales y la



profundidad del sistema de cultivo suspendido. Vale la pena destacar que pectínidos como *N. nodosus* poseen conchas más fuertes, haciéndolos más resistentes en relación a otros pectínidos (Velasco, 2008).

El poliqueto *Polydora* sp. apareció solo en una ocasión en el tratamiento control (sin erizos), esto indicó que la acción de los erizos permitió repeler la acción depredadora de esta especie, causante de importantes mortalidades de *Argopecten purpuratus* en Bahía Tongoy, Chile (Uribe *et al.*, 2001). También se evidenció la presencia de peces como *Aulostomus maculatus*, *Pseudobalistes naufragium*, por lo que el "fouling" podría servir como hábitat de protección para larvas de peces. Comúnmente, los peces herbívoros habitan sustratos duros, como los que genera el "fouling"; Railkin (2004) confirmó que la acumulación de sustratos sólidos genera el aumento de la productividad del plancton, lo que se traduce en la abundancia de peces.

Otros organismos como hidroides, esponjas, bryozoos, son típicos en el "fouling", porque proveen sustratos duros indispensables para la llegada de otros organismos al arte de cultivo, estableciendo condiciones positivas para la búsqueda de alimento o refugio, posiblemente, esto fue lo que sucedió con la presencia de un número significativo de pequeñas langostas de la especie (*Panulirus argus*) asociadas a las artes de cultivo (Davis *et al.*, 2006).

Las observaciones del asentamiento de los incrustantes en actividades de cultivo suspendido refuerzan los antecedentes señalados en la literatura disponible a partir del hecho que los organismos adheridos que se identificaron generan en todas estas experiencias, aumento en el peso de los sistemas de cultivo, una colonización importante de las estructuras flotantes dificultando las tareas de limpieza de estas y la entrega de alimento a algunos de los organismos cultivados, la disminución de la vida útil de los sistemas de cultivo, y un aumento considerable de los costos de operación y mantención. De hecho se estima que estos costos pueden llegar a incrementarse entre un 30 y 50% lo cual afectaría la rentabilidad de la actividad y debe considerarse este antecedente en la planificación de las actividades acuícolas (Méndez, 2007).



## 8. CONCLUSIONES

La inclusión de los biocontroladores (erizos), evidenció los beneficios en la reducción del “fouling” tanto en las artes de cultivo, como en los animales cultivables, resultando en un aumento del crecimiento, calidad y supervivencia de los organismos.

La efectividad en el control del “fouling” se demostró por la acción pastoreadora de *Lytechinus variegatus*, dado que presentó los mejores resultados en cuanto a la reducción del “fouling”, especie promisoría para su utilización en cultivos suspendidos de bivalvos.

La acción en el control biológico del “fouling” por parte de los erizos fue evidente y diferente ya que para el tratamiento con el erizo *L. variegatus* se observó a lo largo de la mini-linterna, en comparación con *E. lucunter* quién actuó de manera más sectorizada en la red.

La densidad de 4 ind/piso, redujo efectivamente el “fouling” y permitió tener condiciones “óptimas” de cultivo para los organismos.

La presencia de los organismos incrustantes en las artes de cultivo, así como en las valvas de los bivalvos, produjo efectos negativos; evidenciados en el crecimiento y supervivencia de *Nodipecten nodosus*.



## 9. RECOMENDACIONES

Existen incuestionables beneficios en cuanto al uso de los biocontroles como agentes "antifouling"; sin embargo, estos beneficios dependen de las especies de cultivo, de las especies biocontroles, los métodos de cultivos, y la densidad de pastoreadores utilizados. Por lo tanto, es necesario desarrollar estudios para lugares específicos a fin de establecer las condiciones propicias para alcanzar la efectividad deseada.

Realizar ensayos con otras especies cultivables, para determinar si la eficacia de los erizos como controladores biológicos es amplia o se limita a reducir el "fouling" solamente de ciertos grupos de organismos marinos.

Trabajar con una mayor densidad de erizos para establecer si compiten por espacio con los bivalvos y por consiguiente afectan su crecimiento o peso.

Si hay disponibilidad de bivalvos, seleccionar aquellos que se encuentren en estado juvenil para observar una mayor variabilidad en el crecimiento.

Se hace necesario el incentivo de alternativas sostenibles; como la inclusión de biocontroles, para la tecnificación de la acuicultura en el país por parte de los actores que aprovechan los recursos de la biodiversidad marina, de modo tal que permitan la obtención de productos de calidad.

Los logros obtenidos en este estudio permiten evidenciar el potencial que poseen ciertas especies de controladores biológicos para su implementación como tecnificación en los cultivos de bivalvos marinos.



## 10. BIBLIOGRAFIA

- Acosta, V., L. Freitas y C. Lodeiros. 2000. Densidad, crecimiento y supervivencia de juveniles de *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* (Pteroida: Pectinidae) en cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 48(4): 799-806 p.
- Alcolado, P. 2007. Diversidad de organismos (Esponjas) 87 pp. En: Claro, R. (Ed.) 2007. La Biodiversidad Marina de Cuba. Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba, 317 p.
- Arbaza, S. y S. Jakubowski. 1995. Biotechnological investigation for the prevention of "biofouling". I. Biological and biochemical principles for the prevention of "biofouling". *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 123: 301-312 p.
- Avendaño, M., M. Cantillanez, M. Le Pennec, Lodeiros C. y L. Freitas. 2001. Cultivo de pectínidos de Iberoamericanos en suspensión. En: Maeda-Martínez A.N. (Ed.): Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Cap.10: 193-211 p.
- Beddingfield, S. D., y J. B. McClintock. 1998. Differential 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 p.
- Beltrán, J., I. Ramos, F. Ruiz, R. Mederos y M., Pereiras. 1988. El erizo de mar *Echinometra lucunter* como organismo indicador de la contaminación por petróleo. *Revista del Instituto de Investigaciones del Transporte.* (11): 45- 56 p.
- BIOTECMAR, 1990. Proyecto de transferencia de tecnologías en América Latina. Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo. Edición III. 88 p.



- Bula-Meyer, G. 1985. Un núcleo nuevo de surgencia en el Caribe colombiano detectado en correlación con las macroalgas. Boletín Ecotrópica. Santa Marta. V. 14: 3-20 p.
- Calva, L.G. 2003. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte II Erizos de mar y pepinos de mar. Rev. Contactos. (47): 54- 63 p.
- Caso, M.E. 1978. Ciencia y técnica de los equinodermos en relación con el hombre. Primera parte: aspecto científico. An. Cent. Cienc. Mar. Limn. (5): 255-286 p.
- Castellanos, C. y F. Newmark. 2003. Cultivo piloto de la madreperla *Pinctada imbricata* y la vieira *Nodipecten nodosus* en la región norte del Caribe colombiano. Memorias I Seminario Producción Acuícola. Universidad de Nariño.
- Ciooco, N.F y J.M Oresanz. 2001. Depredación. En: Maeda- Martínez A.N. (Ed.): Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Cap.14: 267-268 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 suspende culture. Aquaculture (121): 327-342 p.
- CRAB, 2006. Mejoras Prácticas Europeas en Acuicultura y "biofouling" investigación Colectiva en "biofouling" de Acuicultura. 65 p
- Davis, M., B. O'Hanlon, J. Rivera, J. Corsaut, T. Wadley, L. Creswell, J. Ayzavian, y D. Benetti. 2006. Recruitment of Spiny Lobsters, *Panulirus argus*, to Submerged Sea Cages off Puerto Rico, and its Implication for the Development of an Aquaculture Operation. Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute 57: 975-980 p.



- 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. INVEMAR, Santa Marta, Ser. Publ. Espec. (5): 176 p.
- Echeverría, F., J.G. Castaño, N. Aguirre, A.C. Valderrama, J. Peña, L. Herrera, C. Giudice, y A. Morales. 2006. Planteamiento metodológico para la evaluación del desempeño de pinturas anti incrustantes en condiciones estáticas. Revista Facultad de Ingeniería. N°(37): 155-163 p.
- FAO. 2006. Cultivo de bivalvos en criadero, un manual práctico. Documento Técnico de Pesca. 471 p.
- FAO. 2007a. Glossary of Aquaculture. En: <http://www.fao.org/fi/glossary/aquaculture>.
- FAO. 2007b. Coastal aquaculture: development perspectives in Africa and case studies from other regions. En: <http://www.fao.org/docrep/008/ad794b/AD794B09.htm>.
- 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 p.
- Franco, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira: El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe Colombiano. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 58 p.
- Freites, L. y M. Núñez. 2001. Cultivo suspendido de *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* (Linnaeus, 1758) mediante los métodos de bolsa y aurícula "ear hanging". Venezuela, Universidad del Oriente Bol. Inst. Oceanog. 4 (1 y 2): 21-29 p.



- 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.
- Gómez, A. 1999. Los recursos marinos renovables del Estado Nueva Esparta Venezuela. Biología y Pesca de Especies Comerciales. Tomo I. Invertebrados y Algas. 60 p.
- Gómez, A. 2003. Relación diámetro-peso y proporción cromática del erizo *Lytechinus variegatus* (Echinoidea: Toxopneustidae) en las islas de Margarita y Cubagua, Venezuela. Rev. Biol. Trop. 51, Supl. (4): 83-86 p.
- Gómez- León, J., O. Lara y C. Romero. 2009. Etapas para el cultivo de bivalvos (pectínidos y ostras) en sistema suspendido en el Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Generales N°25. Santa Marta , 36 p.
- González, M. y Rojas, A. 1999. Descripción del arrecife coralino costero y parches coralinos frente a "la Playa del Muerto" con énfasis en las poblaciones de coral escleractinio (Bahía Neguanje, PNNT, 1998). Seminario de investigación. Biol. Mar. Univ., Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, 60 p.
- González, F. 2002. La acuicultura y el desarrollo económico. Bol. Inst. Esp. Oceanogr. 18 (1-4): 265-274 p.
- Hammer, H., S.A. Watts, J.M. Lawrence, A.L. Lawrence, y J.B McClintock. 2004. The effect of dietary protein concentration on gonad composition and gametic condition in the sea urchin *Lytechinus variegatus*. Am: Zool 49:1042–1043 p.
- Hendler, G., J. Miller, D. Pawson, y P. Kier. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies. Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press. 390 p.



- Hincapié – Cardenas, C. 2007. Macrobiofouling on open-ocean submerged aquaculture cages in Puerto Rico. Thesis of Master of Science in Marine Sciences University of Puerto Rico Mayagüez Campus. 46 p.
- Hodson, S. L., T. E. Lewis, and C. M. Burke. 1997. Biofouling of fish-cage netting: efficacy and problems of in situ cleaning. *Aquaculture* (152):77-90 p.
- Huang, C. 2000. Engineering risk analysis for submerged cage net system in Taiwan. In *Cage Aquaculture in Asia: Proceedings of the First International Symposium on Cage Aquaculture in Asia* (ed. IC. Liao and C.K. Lin), 133-140 p.
- Imai, T. 1978. *Aquaculture in Shallow Seas: Progress in Shallow Sea Culture*. Rotherdam, A.A. Balkema, 288-364 p.
- INVEMAR. 2000. *Áreas Coralinas de Colombia*. Santa Marta: INVEMAR. Publicaciones especiales No. (5): 176 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 p.
- Lawrence, J. M. 1975. On the relationship between marine plants and sea urchins. *Oceanogr. Mar. Biol. Am. Rev.* 13:213-286 p.
- Lawrence, J.M. 1987. Echinodermata. Vol. (2): Bivalvia through Reptilia. En: T.J. Pandian y F.J. Vernberg. *Animal Energetics*. (Eds.) Academic Press Inc: 229-321 p.
- 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. *Aquaculture Research*. (27): 749-756 p.



- 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 p.
- Lodeiros, C., J.J. Rangel, L. Freitas, 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 p.
- Lodeiros, C., B. Marín, y A. Prieto. 1999. Catálogo de moluscos del nororiente de Venezuela. Clase Bivalvia. Ediciones Apudons. 110 p.
- Lodeiros, C. y N. García. 2004. The use of sea urchins to control "fouling" during suspended culture of bivalves. *Aquaculture* (231): 293-298 p.
- Manrique– Rodríguez, N., S. Bejarano- Chavarro, y J. Garzón– Ferreira. 2006. Crecimiento del abanico de mar *Gorgonia ventalina* (Linnaeus, 1758) (Cnidaria: Gorgoniidae) en el área de Santa Marta, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* (35):77-90 p.
- Mazouni, N., J - C. Gaertner, y J.-M. Deslous-Paoli. 2001. Composition of biofouling communities on suspended oyster cultures: an in situ study of their interactions with the water column. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 214: 93-102 p.
- Méndez, C. 2007. Asentamiento de bioincrustantes en actividades de acuicultura. *Ciencia Ahora*. N° (20): 41-45 p.
- Minchin, D. y C.B. Duggan. 1989. Biological control of the mussel in shellfish culture. *Aquaculture*. (81): 97-100 p.
- Minchin, D., 1996. Biological control of "fouling" in shellfish cultivation. *Aquacult. Ireland*. 19-21 p.



- Monroy, M. y O.D. Solano. 2005. Estado poblacional de *Echinometra lucunter* (Echinoida: Echinometridae) y su fauna acompañante en el litoral rocoso del Caribe colombiano. Rev. Biol. Trop. (53): 291-297 p.
- Montoya, E., P. Flórez- Romero, y E. Winston. 2007. Checklist of the marine Bryozoa of the colombian Caribbean. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Biota colombiana (8) 002: 159-184 p.
- Moya, L. 1998. Efecto del "fouling" en el crecimiento de ostiones *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) cultivados en "pearl nets" en bahía Tongoy. IV Región, Coquimbo. Tesis (Ingeniero en Acuicultura), de la facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo. 133 p.
- Pacheco, A. y A. Garate. 2005. Bioincrustantes en estructuras de cultivo de *Argopecten purpuratus* en bahía Samanco, Perú. Ecología Aplicada, (4): 4 p.
- Paredes, C., F. Cardoso. Y J. Tarazón. 1999. Invertebrados del intermareal rocoso del departamento de Lima, Perú. Una lista comentada de especies. Rev. Per. Biol. 6 (1):143-151 p.
- Pereira, L. 1998. Tecnología de cultivo de bivalvos en ambiente natural. 135 – 166 p. En: Illanes J. E. VIII Curso internacional de cultivo de moluscos (Ed). Universidad Católica del Norte, Coquimbo - Chile 385 p.
- Philipson, P.W. 1989. The marketing of marine products from the South Pacific. Inst. Pac. Stud. Univ. South Pacific. 307 p.
- 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 p.



- Railkin, A. 2004. Marine "biofouling". Colonization process and defenses. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida. 303 p.
- Rodríguez, L., y F. Losada. 1986. Efecto del apacentamiento de los erizos *Lytechinus variegatus* y *Echinometra lucunter* sobre las comunidades marinas de la bahía de Mochima, Venezuela. Bol. Inst. Ocenogr. Venezuela. Univ. Oriente. 25 (1-2): 69-84 p.
- Romero, L., C. Paredes. y R. Chávez. 1988. Estructura de la macrofauna asociada a los rizoides de *Lessonia* sp.(Laminariales, Phaeophyta). En: Salzwedel H. & Landa A. (Eds). Recursos y Dinámica del Ecosistema de Afloramiento Peruano. Bol. Inst. Mar Perú Callao. Vol. Ext.: 133-139 p.
- Román, G., G. Martínez, O. García, y L. Freites. 2001. Reproducción. En: Maeda- Martínez A.N. (Ed.): Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Cap.2:27-51 p.
- Ross, K., J. Thorpe, y A. Brand. 2004. Biological control of "fouling" in suspended scallop cultivation. Aquaculture (229): 99-116 p.
- Rupp, G.S. y G.J. Parsons. 2001. The fisheries and aquaculture of scallops from Brazil. En: S.E. Shumway & G.J. Parsons (eds.) Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Elsevier Science Publishing Co. New York (en prensa).
- Santos, A., E. Mayoral, F. Muñiz, J.C. Vera- Peláez, y M.C. Lozano- Francisco. 2003. Estructuras bioerosivas de anélidos - poliquetos (Serpulidae) en el Neógeno superior del sur de la Península Ibérica. Geogaceta: (33): 27-30 p.
- Schoppe, S. y B. Werding. 1996. The boreholes of the sea urchin genus *Echinometra* (Echinodermata: Echinoidea: Echinometridae) as microhabitat in tropical South America. P.S.Z.N.I.: Mar. Ecol. (17): 181-186 p.



- Tuya, F., J. Martín, G. Reuss, y A. Luque. 2001. Feeding preferences of the sea urchin *Diadema antillarum* in Gran Canaria Island (Central – East Atlantic Ocean). *J.Mar. Biol. Assoc.* (81): 1-5 p.
- Tuya, F., A. Boyra, y R.J. Haroun. 2004. Blanquizales en Canarias. La explosión demográfica del erizo *Diadema antillarum* en los fondos rocosos de Canarias. BIOGES: Centro de Investigación en Biodiversidad y Gestión Ambiental. En: [www.bioges.org](http://www.bioges.org).
- Uribe, E. y I. Etchepare. 1998. Investigación de variables que influyen en el desarrollo del piure blanco *Ciona intestinalis* en el cultivo del ostión del norte *Argopecten purpuratus*. Informe al Fondo de Investigación Pesquera Chile. (96):95: 220 p.
- Uribe, E., C. Lodeiros, E. Félix- Pico, y I. Etchepare. 2001. Epibiontes en pectínidos de Iberoamérica. En: Maeda- Martínez A.N. (Ed.): Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Cap. (13): 249-264 p.
- Valero, A., y Y. Caballero. 2003. Guía practica para el cultivo de bivalvos marinos Caribe colombiano: Madreperla, ostra alada, concha de nácar y ostiones. INVEMAR. Serie de publicaciones especiales No. (9): 48 p.
- Velasco, L.A. 2008. Biología y cultivo de los pectínidos de interés comercial en Colombia. (Ed). UNIMAGDALENA, Santa Marta. 258 p.
- Velasco, L. y J. Barros. 2008. Experimental larval culture of the Caribbean scallops *Argopecten nucleus* and *Nodipecten nodosus*. *Aquaculture Research*. (39): 603-618 p.
- Ventilla, R. F. 1982. The scallop industry in Japan. *Adv. Mar. Biol.* (20): 310-382 p.



Watson, D.I., S. Durr, D. Beaz, E. Bergtun, R. Breur , J. Cebria , J. Davenport, D. Fowler, C. Hough, J. Icely, 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, P. Willemsen. 2005. "fouling" remediation through the use of grazers in shellfish aquaculture. Workshop. Aquaculture & Fisheries Development Centre, University College Cork, Ireland.15 p.

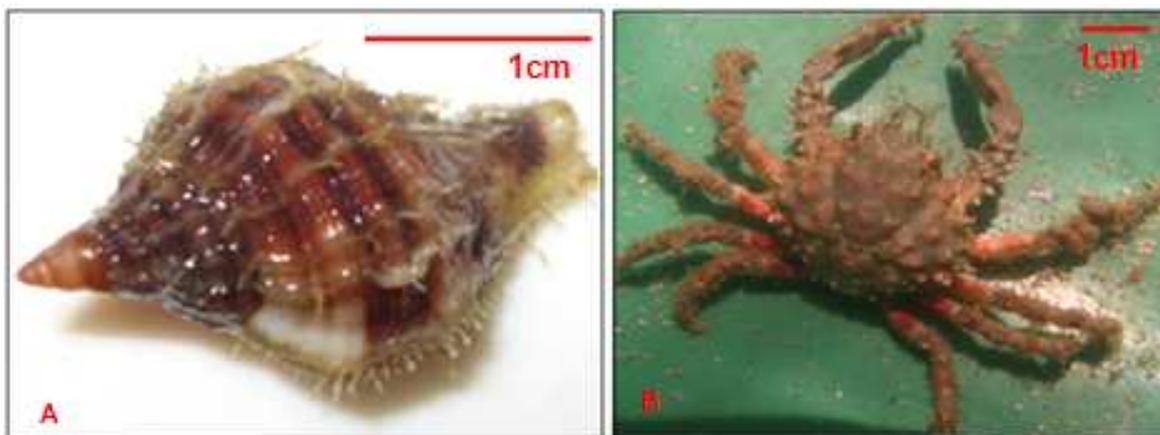
Widman, J.C. y E.W. Rhodes. 1991. Nursery culture of the bay scallop, *Argopecten irradians*, in suspended mesh nets. *Aquaculture* (99): 257-267 p.

Zar, J.H., 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Englewoods Cliff, NJ. 699 p.



## 11. ANEXOS

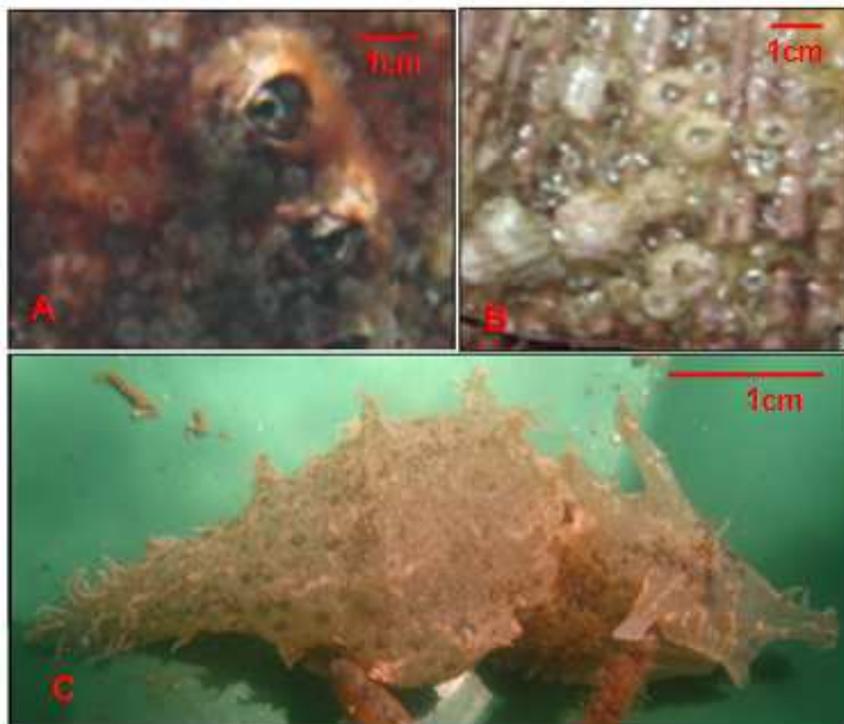
**ANEXO A:** Principales depredadores de *Nodipecten nodosus* encontrados durante el cultivo suspendido



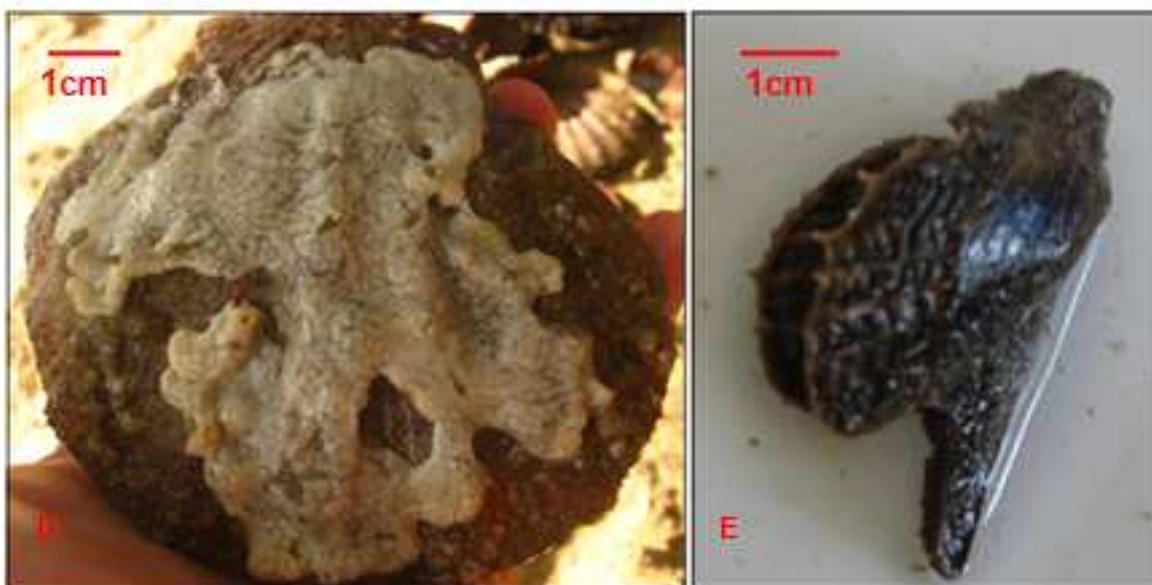
**A.** *Cymatium* sp y **B.** *Mithrax* sp



**ANEXO B:** Principales epibiontes y organismos asociados al cultivo suspendido de *Nodipecten nodosus*.



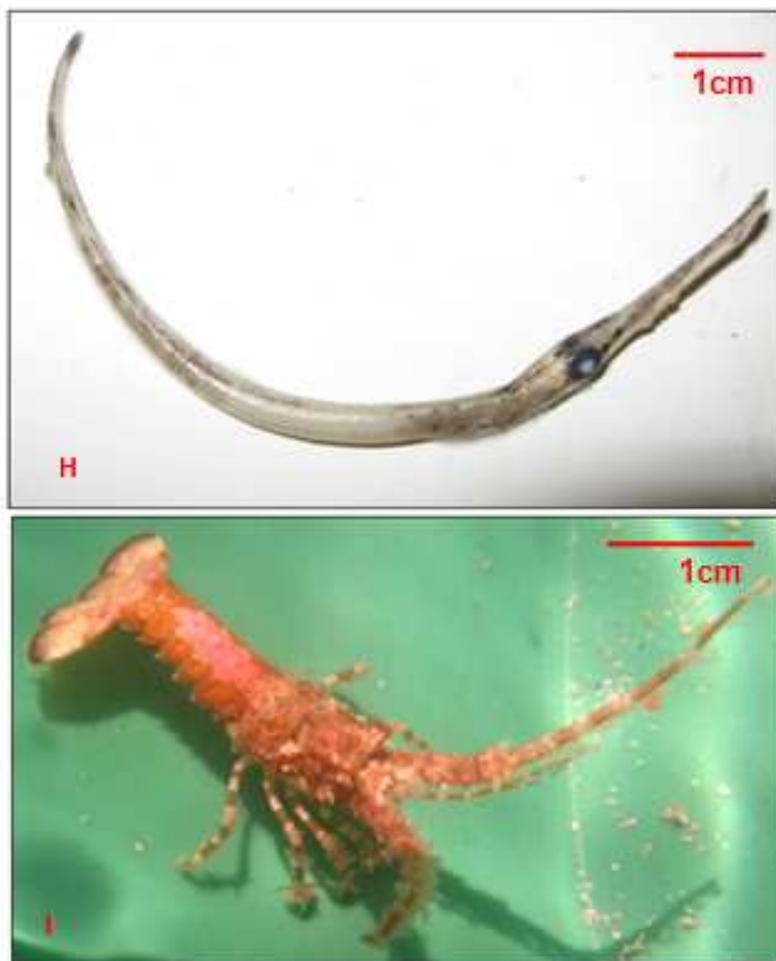
**A.** Esponja, *Cliona* sp **B.** Crustáceo sésil, *Balanus* sp y **C.** Polycladido *Stylochoplana* sp



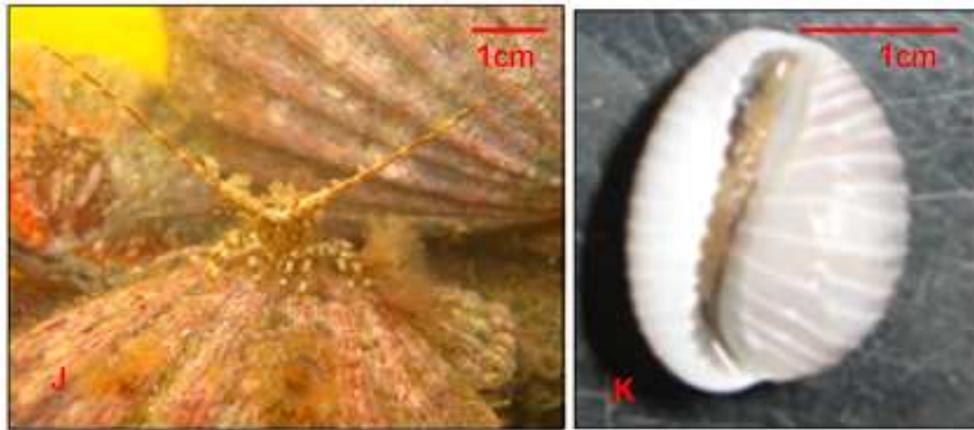
**D.** Esponja, *Leucosolenia coriácea* **E.** Bivalvo, *Pteria colymbus*



F. *Pseudobalistes naufragium* G. Poliqueto, *Nereis* sp



H. *Aulostomus maculatus* I. Larva de langosta espinosa, *Panulirus argus*



**J.** Epibionte, *Bugula* sp. **K.** *Trivia* sp