

## Problemática del biofouling en el cultivo de *Argopecten purpuratus* en el Perú

Rómulo E. Loayza Aguilar

Laboratorio de Biología Acuática, Escuela de Biología en Acuicultura, Universidad Nacional del Santa  
Av. Pacífico 508, Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote, Perú  
e-mail: [rloayza@uns.edu.pe](mailto:rloayza@uns.edu.pe)

### Resumen

El cultivo de *Argopecten purpuratus* en el Perú es muy prometedor; sin embargo, el biofouling origina serios problemas al propio cultivo, así como al ecosistema, los que se intentan abordar en este ensayo, con base a observaciones de campo y literatura accesible. Los principales problemas que ocasiona el biofouling están referidos a: a) elevan los costos de operación por el incremento en peso y deterioro de los sistemas de cultivo, b) disminuyen el flujo de agua hacia las linternas, c) compiten por alimento y oxígeno con los organismos en cultivo, que originan estrés y mortalidad, afectando la productividad y rentabilidad, d) impactan el ambiente, principalmente los fondos marinos por la disposición de organismos descartados y acumulación de heces y pseudoheces, atentando contra el equilibrio ecosistémico. En el Perú los estudios sobre el biofouling son muy escasos, y no se dispone de métodos para controlar o mitigar su desarrollo; y todas las alternativas, a nivel global, están aún a nivel experimental. Resulta recomendable ensayar el control del biofouling a través de un recambio más frecuente de las linternas.

Palabras clave: biofouling, cultivo, *Argopecten purpuratus*, Perú

### Summary

Problem of biofouling in the culture of *Argopecten purpuratus* in Peru

The culture of *Argopecten purpuratus* in Peru is very promising, however, the biofouling causes serious problems to crop itself, and the ecosystem, which seek to address in this essay, based on field observations and available literature. The main problems caused by biofouling are referred to: a) raise the costs of operation by the increase in weight and deterioration of farming systems, b) reduce water flow to the torches, c) compete for food and oxygen to organizations in culture, giving rise to stress and mortality, affecting productivity and profitability, d) impact the environment, mainly the seabed for the disposal of discarded bodies and accumulation of feces and pseudo-faeces, undermining the balance ecosystem. In Peru biofouling studies are scarce, and there are no methods to control or mitigate its development and all alternatives, globally, are still at an experimental level. It is advisable to test their control through a more frequent replacement of the lanterns.

Key words: biofouling, culture, *Argopecten purpuratus*, Peru

### Introducción

Actualmente la acuicultura exhibe un crecimiento muy importante: entre 1998 y 2008, creció 4,8 veces (Baltazar, 2009) y en el año 2007 representó el 41,6% de la producción mundial (López, 2009). Su tasa de expansión en América Latina (DINARA-FAO, 2008), es del 20% anual, constituyéndose en la industria con mayor crecimiento a nivel mundial (Durr & Watson, 2009). Esta actividad seguirá creciendo, si se considera que algunos stocks pesqueros a nivel mundial se encuentran en su capacidad máxima de explotación (García-Pardo y cols., 2007).

La maricultura para el Perú representa sustanciales beneficios económicos: generadora de puestos de trabajo, promotora de muchas actividades conexas, e importante fuente de

divisas debido a las exportaciones de estos productos; considerada por ello como la "revolución azul" (Tureck & Oliveira, 2003). No obstante estas ventajas, a menudo se constatan impactos negativos que atentan contra el medio ambiente, y con ello la sostenibilidad de la propia actividad. En el Mediterráneo, la UICN (2007) para enfrentar esta problemática ha propuesto la Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura, a fin de garantizar que la actividad sea objetivamente compatible con el ambiente.

La maricultura para ser una actividad sostenible precisa ser lucrativa, pero manteniendo una relación armónica con los ecosistemas y las comunidades locales (Tureck & Oliveira, 2003). Ello significa incluir dentro de sus costos de producción las externalidades, es decir los costos de los impactos negativos al ambiente. En este contexto, los impactos que ocasiona el desarrollo del biofouling en las estructuras de cultivo de *Argopecten purpuratus* en el Perú, no solo afecta la rentabilidad económica de las empresas, sino también al ambiente marino, por la disposición, intencional o no, de estos organismos en el propio medio; de tal modo que si el problema persistiera podría, en un mediano plazo, comprometer la viabilidad para sostener esta importante actividad económica. En Europa, para abordar este problema se ha implementado el proyecto Collective Research on Aquaculture Biofouling (CRAB) (UICN, 2007).

El propósito del presente ensayo es comentar, con base a observaciones de campo y literatura accesible, la situación de los problemas que representa el biofouling al cultivo industrial de *A. purpuratus* que se realiza en Perú, y de este modo poner en la agenda de la gestión ambiental esta delicada problemática, que merece ser resuelta en el corto plazo, a fin de garantizar la vigencia de los cuerpos de agua como alternativa para la maricultura sostenible en esta región.

## La maricultura de bivalvos en el Perú

---

*A. purpuratus* es el único bivalvo marino que se cultiva a nivel industrial en el Perú. Su producción alcanzó 14,8 mil toneladas en 2008, con un valor de exportación de 34,2 millones \$US, proporcionando 2700 empleos directos y unos 6 - 8000 indirectos (Minist. Produc., 2010a).

Esta especie se encuentra en toda la costa peruana, y los principales lugares de cultivo son la bahía de Sechura, Isla Lobos de Tierra, bahía de Samanco, bahía Independencia y bahía de Paracas. Dos ventajas favorecen su cultivo: a) es una especie filtradora del plancton y detritus (Galeno y cols., 1999), que le permite aprovechar la enorme capacidad biogénica del mar peruano, y b) su primera madurez sexual la alcanza entre los 13 mm (DiSalvo y cols., 1984 in Román y cols., 2001) y los 25 mm de longitud (Mendo y cols., 1989 in Román y cols., 2001), desovando durante todo el año (Avendaño y cols., 2001, Román y cols., 2001), lo que garantiza la provisión de semilla.

En el Perú (Minist. Prod., 2010b), actualmente se han habilitado 39975,39 ha marinas para desarrollar la acuicultura, habiéndose otorgado 10474,72 ha; esperándose que en el mediano plazo se consolide la producción y la oferta exportable de *A. purpuratus*. En este horizonte, para lograr la sostenibilidad de la maricultura peruana, entre otros aspectos, se hace necesario: a) identificar otras especies promisorias, b) independizar el abastecimiento de semilla proveniente del medio ambiente, y c) manejar integralmente el cultivo, incluyendo la problemática del biofouling, orientado a mejorar la productividad y por ende la rentabilidad económica y garantizar el equilibrio ambiental.

---

## Biofouling

---

Eguía (2000), Eguía y cols. (2006) y UICN (2007), conciben al biofouling como un fenómeno indeseable de adherencia y acumulación de depósitos bióticos sobre superficies artificiales sumergidas o en contacto con el agua de mar; capacidad de colonización que es atribuida al rápido crecimiento, tamaño pequeño, ciclo de vida corto y alta capacidad de dispersión larval, que les permite aprovechar el momento en que una superficie se encuentra libre (Sutherland & Karlson, 1977). Estas incrustaciones biológicas, bioincrustantes o biofouling, responden a un proceso natural, común en el ambiente marino (Sauer & Baptista, 2007), y obedecen a un modelo de sucesión, iniciado por un proceso de adsorción macromolecular, seguido por colonización bacteriana y epibiontes unicelulares que desarrollan una matriz polimérica, en sustratos vivos y no vivos, que finalmente promueven la colonización del macrofouling (Marszalek y cols., 1979, Wahl, 1989, Abarzua & Jakubowski, 1995, Neptuno & Poli, 2004 in Sanches y cols., 2007, Echeverría y cols., 2007, Su y cols., 2008, Hincapié-Cárdenas, 2007 (NO en referencias)). Son acumulaciones de elevada diversidad de organismos oportunistas (Portillo, 2002), constituidos por bacterias, diatomeas y protozoarios (Li, 2006), algas e invertebrados (da Gama y cols., 2003); filtradores, con alta capacidad de competición (Arakawa, 1990); sésiles, semisésiles (Almeida y cols., 2008) y sedentarios (Arakawa, 1990); herbívoros y predadores (Leblanc y cols., 2003).

---

### Biofouling en los sistemas de cultivo de *A. purpuratus*

---

En el Perú son escasos los estudios del biofouling sobre cultivos marinos. Pacheco & Garate (2005), en los sistemas de cultivo de *A. purpuratus* en la bahía de Samanco identificaron 33 especies: 45,4% suspensívoras, 15,1% carnívoras, 27,2% herbívoras, 9,09% omnívoras y 3,03% depositívoras. En esta misma bahía, Encomendero y cols. (2006) reportan cuatro especies de poliquetos epibiontes sobre las valvas de *A. purpuratus*: *Neanthes succinea*, *Nereis pelagica*, *Halosydna brevisetosa* e *Hydroides* sp. También, en la bahía de Samanco, en el año 2009, el autor de este artículo encontró 21 especies de biofouling durante el verano y 29 especies durante el invierno, con coberturas del 100% de las linternas de cultivo, y una biomasa promedio de 88,05 kg, producidos en promedio en 2,5 meses, siendo *Semimitylus algosus* y *Ciona intestinalis* las especies predominantes. En la bahía Independencia (Perú), Aguilar & Mendo (2002), encontraron 38 especies asociados a bolsas colectoras de semilla de *A. purpuratus*, habiendo sido *S. algosus* el componente más significativo. Se desconoce en general, el calendario sucesional anual, si las especies predominantes son las mismas en el periodo de verano e invierno, y si son las mismas, para la parte norte, centro y sur del país.

En las bahías Tongoy, Guanaqueros e Inglesa (Chile), Uribe y cols. (2001) encontraron 63 especies del biofouling sobre los cultivos de *A. purpuratus*, de las cuales 27 estuvieron en invierno y verano. Califican a *Polydora* sp. y *C. intestinalis*, como epibiontes catastróficos, por los daños que pueden ocasionar a los cultivos comerciales y a los bancos naturales de pectínidos. *Polydora* sp., es un poliqueto que también forma parte del biofouling en los cultivos de *A. purpuratus* en el Perú, y que ocasiona mortalidad por perforación de las valvas de los moluscos en cultivo; sin embargo, hace falta cuantificar económicamente las pérdidas que ocasiona.

---

### Problemática ocasionada por el biofouling

---

Por la capacidad biogénica de las aguas del litoral peruano, el cultivo de *A. purpuratus* tiene enormes perspectivas de seguir desarrollándose, lo cual tendrá mayor repercusión

socio-económica; sin embargo, el problema que ocasiona el biofouling, sobre todo en bahías, reviste mucha preocupación, en tanto que a la fecha no se han realizado estudios básicos que orienten la implementación de medidas para controlar o mitigar los impactos negativos, como los que se advierten en los siguientes párrafos, y con ello mejorar la rentabilidad de las empresas y garantizar la sostenibilidad del ecosistema en donde se desarrollan.

Los organismos del fouling al adherirse a las estructuras del cultivo, como cabos, boyas, linternas, pearl nets y bolsas colectoras, deterioran estos materiales, reducen el tiempo de duración (Pacheco & Garate, 2005, Méndez, 2007, Hincapié-Cárdenas, 2007), y disminuyen la flotabilidad del sistema, incrementando los costos por mantenimiento (Wahl, 1989, Claereboudt y cols., 1994, Maguire & Burnell, 1999, Avendaño y cols., 2001, LeBlanc y cols., 2002, Ross y cols., 2004), que puede llegar a representar entre 30 a 50% del costo de producción (Méndez, 2007).

El biofouling puede cubrir la superficie de las linternas y alterar el flujo de agua (Sharp y cols., 2006, Hincapié-Cárdenas, 2007), disminuyendo también el suministro de alimento (Lesser y cols., 1992; Claereboudt y cols., 1994, Maguire & Burnell, 1999, Uribe, 2001, Uribe y cols., 2001, LeBlanc y cols., 2002, Villarroel y cols., 2003), la tasa de ingestión (Uribe & Blanco, 2001) y la disponibilidad de oxígeno y la depuración de los residuos metabólicos (Wahl, 1989, Núñez y cols., 2007), afectando negativamente el crecimiento y supervivencia de los organismos en cultivo (Navarro, 2001). Como se observa en la bahía de Samanco (Perú), Uribe y cols. (2001) señalan que en Chile, durante la primavera y el verano, *C. intestinalis* puede llegar a cubrir totalmente los sistemas de cultivo y ocasionar la muerte de *A. purpuratus* en cultivo. La disminución de la velocidad del flujo de agua dentro de las linternas, por el recubrimiento del biofouling en el cultivo de *A. irradians* y *Placopecten magellanicus*, origina inhibición en su crecimiento a velocidades de flujo de 5 a 20 cm s<sup>-1</sup>, y a un flujo de 10 a 20 cm s<sup>-1</sup>, en *P. magellanicus*, redujo sustancialmente su tasa de filtración (Navarro, 2001). En el cultivo de ostras, Arakawa (1980) señala que generalmente ocurre una intensa competitividad entre los organismos del biofouling y las ostras, que podría significar que estas dejen de crecer, y si el grado de colonización es severo, las ostras podrían asfixiarse y morir.

En la bahía de Samanco (Perú) (observaciones del autor), indican que una linterna en 2,5 a 3 meses, acumula en promedio unos 87 kg de biofouling. Del mismo modo, en Chile, Uribe & Blanco (2001) señalan que en 3 meses de inmersión una linterna de 20 kg, puede llegar a pesar 120 kg por desarrollo del biofouling. Esto significa que los organismos filtradores consumen importantes cantidades de alimento, compitiendo con los organismos en cultivo, aspecto que aún no ha sido cuantificado y por tanto determinadas las pérdidas económicas.

Recurrentemente se observa desarrollo excesivo del biofouling sobre las valvas de los organismos en cultivo, lo que debe dificultar la alimentación y la respiración, ocasionando con ello ciertos grados de estrés, aun no cuantificados. En otros casos los incrustantes perforan las valvas debilitando su estructura (Uribe y cols., 2001). Cano y cols. (2000) en un ensayo de cultivo suspendido de *Pecten maximus* en Málaga (España), comentan que luego de un acelerado crecimiento, estos organismos rápidamente fueron cubiertos por *Balanus* sp., originando elevada mortalidad en todos los tratamientos.

No ha sido posible encontrar información sobre los efectos de las condiciones de hipoxia o anoxia que podrían generar los organismos del biofouling dentro de las estructuras de cultivo de *A. purpuratus*; sin embargo, se advierte (PIRSA, 2001) que ello podría significar estrés, con la obvia pérdida de peso, y predisponer a los organismos a enfermedades, pudiendo llegar a ocasionarles la muerte.

El biofouling que se desarrolla dentro de las linternas, como cnidarios, algas, tunicados, moluscos, equinodermos, etc., producen secreción mucosa (Wahl, 1989), que modifica la calidad del agua debido al catabolismo de las proteínas, pudiéndose formar amonio, gas que puede representar entre el 60 al 90% del N total, excretado por numerosas especies de bivalvos (Navarro, 2001). A esto se debe añadir que las tasas de biodeposición (heces y pseudoheces (Uribe & Blanco, 2001)) y desechos metabólicos (e.g., amonio, fosfato), pueden entorpecer aún más las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua del interior de la linterna.

En la bahía de Samanco cuando el biofouling cubre las linternas de cultivo, y aun cuando la concentración del oxígeno en la columna de agua sea mayor de  $4 \text{ mg l}^{-1}$ , ocurren mortandades de hasta el 100% en las "líneas" de cultivo. Se podría advertir que esta cobertura puede afectar progresivamente el crecimiento en talla y peso y desarrollo gonadal de los organismos en cultivo debido a la competencia por alimento y al estrés originado por la competencia por el oxígeno disuelto dentro de las linternas, hasta, eventualmente, ocasionarles la muerte.

*C. intestinalis* produce grandes cantidades de deposiciones (Mazouni y cols., 2001), y los mitílidos, filtradores selectivos (Leblanc y cols., 2003), pero con baja eficiencia alimentaria, filtran grandes volúmenes de agua, y también producen importantes cantidades de heces y pseudoheces (Pérez, 1979 in Jorge, 2004), que tienden a depositarse en el fondo del cuerpo de agua. Además de esto, durante las operaciones de rutina se descartan (Oliveira, 2005), y desprenden, muchos organismos del biofouling, que finalmente terminan en el fondo del cuerpo de agua. El incremento de materia orgánica en el fondo (Vita y cols., 2002), origina cambios fisicoquímicos, reduciendo la diversidad biológica, al convertirlo en espacio anóxico, inhóspito para los organismos bentónicos, ya que producen sulfuros, amonio, iones de hierro y otros iones o moléculas reducidas tóxicas. Uribe & Blanco (2001), refieren que la tasa de biodeposición de un ejemplar de *A. purpuratus* durante un ciclo de cultivo de 15 meses en Bahía Tongoy, es de alrededor de 3,9 veces su peso; que multiplicado por los varios millones de organismos en cultivo, las cifras resultan preocupantes. Rudolph y cols. (1984 in Uribe & Blanco, 2001), sostienen que es importante considerar el volumen de biodeposiciones, ya que aparte de las exigencias de oxígeno, puede generar grandes pérdidas de la población en cultivo por intoxicación debido al  $\text{H}_2\text{S}$ , producido por la descomposición por bacterias anaeróbicas, y además originar condiciones adversas para la vida bentónica. En este contexto, el entorpecimiento de las características del fondo marino, no solo impactan a la biodiversidad bentónica, sino que también repercuten en las condiciones físico-químicas de la columna de agua del área del propio cultivo, y por otro lado ocasionan externalidades a la pesca artesanal, aspectos que tampoco han sido estudiados y cuantificados.

---

### Control del biofouling

---

A nivel mundial, dados los problemas que genera el biofouling en los cultivos de bivalvos, se vienen desarrollando estudios aplicando métodos físicos, químicos y biológicos (Arakawa, 1980); sin embargo, en el Perú estos estudios aún no se han iniciado y menos aún se aplican métodos para reducir o controlar, en la práctica, el desarrollo del biofouling en los cultivos de *A. purpuratus*. En los siguientes párrafos se hace una revisión de métodos que vienen probándose, y que podrían ser adaptados o tomados en cuenta para el caso de la realidad peruana.

Arakawa (1980) señala que se han probado pesticidas, obteniendo buenos resultados con DDT y BHC; sin embargo, son productos prohibidos en la agricultura, y por tanto no recomendados, ya que se podrían originar daños imprevisibles en la biota marina. El

tributilo de estaño (TBT), dadas sus bondades para controlar el asentamiento larval (Evans y cols., 1995, da Gama y cols. 2003), fue empleado ampliamente en pinturas antifouling, pero, en los años '80 se descubrió que tenían consecuencias funestas sobre los ecosistemas marinos (Eguía y cols., 2006). Abarzua & Jakubowski (1995) reportan deformación en las valvas de *Crassostrea gigas* por efecto del TBT, y Barreiro y cols. (2004) hacen una revisión y además demuestran que bajas concentraciones de TBT inducen la anomalía denominada imposex (superposición de rasgos masculinos en las hembras), en los gasterópodos *Nucella lapillos* y *Nassarius reticulatus*, que se refleja en la aparición de un pene y espermaducto en las hembras (Abarzua & Jakubowski, 1995). En 2003 la utilización de TBT fue prohibida en casi todo el mundo por la Organización Marítima Internacional (IMO) y la Convención Internacional para la Prevención de la Polución por Navíos (MARPOL) (Sauer & Baptista, 2007).

Abarzua & Jakubowski (1995) hacen una revisión detallada de las alternativas para prevenir el biofouling. Describen métodos biológicos y bioquímicos, orientados a la disolución de las sustancias adhesivas por varios tipos de enzimas; la intervención en el metabolismo de los organismos del fouling; inhibir la competitividad de receptores a través de la oferta de sustancias parecidas a la lecitina; generando quimiotaxis negativa y a través de agentes biogénicos; pero indican que son métodos a nivel experimental. Señalan que los métodos utilizando agentes biogénicos, como los procedentes de micro y macroalgas y los derivados de invertebrados marinos, también están en fase experimental. Callow & Callow (2002), refieren que muchos organismos marinos libres de biofouling, producen sustancias altamente tóxicas, como el ácido zostérico de *Zostera marina*, que inhibe la acumulación de biofouling por interferencia con la adhesión.

Da Gama y cols. (2008) ensayaron la actividad inhibitoria de 68 extractos de 42 especies de macroalgas en la fijación del biso de *Perna perna*, encontrando que el 23,5% de las especies presentaron fuerte actividad antifouling y un 38% actividad moderada. Medeiros y cols. (2007), encontraron que *Bryothamnion seaforthii* y *Jania rubens* inhiben fuertemente la fijación del biso de *P. perna*. Sauer & Baptista (2007), estudiaron las propiedades antiincrustantes de *Hypnea musciformis*, *Laurencia flagellifera*, *Ulva fascista*, *Chaetomorpha antennina* y una *Floriophyceae*, sobre la fijación de bisos de *P. perna*, encontrando resultados negativos en todos los casos. Dahms y cols. (2006), señalan que las cianobacterias han sido identificadas como una nueva y rica fuente de compuestos bioactivos, que podrían constituirse en sustancias antifouling.

Hincapié-Cárdenas (2007), sostienen que la mejor forma de enfrentar los efectos negativos del biofouling, es previniendo su desarrollo, pudiendo aplicar inhibidores de biopelículas bacterianas por el uso de biocidas oxidantes o ácidos concentrados; desplazar a la biomasa por medios físicos y/o desestabilizar la matriz del biofilm utilizando tensioactivos, agentes de dispersión o agentes quelantes. Zapata y cols. (2007), ensayaron el efecto inhibitorio de biopelículas producidas por 73 cepas de bacterias sobre el asentamiento larval de *C. intestinalis* y *Pyura praeputialis*, demostrando que el 20% de estas tienen efecto positivo sobre el asentamiento larval.

Méndez (2007) señala que empleando *Tegula* en los cultivos de "ostión del norte" (*A. purpuratus*) impidieron el asentamiento larval indeseable. Watson (2006) probó el uso de *Monodonta lineata* (molusco) y el erizo de mar *Paracentrotus lividus*, en el cultivo de "ostión", con resultados prometedores, pero que merecen seguir siendo estudiados. Este mismo autor refiere que el uso de *Littorina littorea* como controlador del biofouling permite incrementar las tasas de crecimiento de las ostras en un 30%, y que los cangrejos pueden reducir el biofouling en un 76 – 79% en el cultivo de ostras, permitiendo un incremento del crecimiento de la población de 10 – 60% y una mejora en la calidad de las valvas. Portillo (2002), hace referencia a varios autores para indicar el

empleo experimental de "lapas" *Patella coerulea*, *Littorina littorina* y *Strombus maculatus*, como controladores del biofouling, en barcos, cultivo de ostras y acuarios, respectivamente. Este mismo autor probó *Osilinus atratus* (gasterópodo) como controlador biológico del biofouling en el cultivo de *Ulva* en tanques, reportando que con una densidad de 125 ind. por cada 2,47 m<sup>2</sup>, se logra controlar el 100% del desarrollo de incrustantes.

Callow & Callow (2002) afirman que el control del biofouling es un problema esencialmente de manejo de la adhesión; sin embargo (Schumacher y cols., 2007), la diversidad de los modos de fijación larval y los diversos grados de bioadhesividad que utilizan estos organismos, complican las estrategias para enfrentarlo utilizando compuestos no biocidas, de tal modo que se requerirá estudiar cada uno de los componentes de este consorcio de organismos, para establecer las pautas de su control.

Schumacher y cols. (2007), reportan el efecto de la microtopografía de sustratos (varillas, triángulos, formas de columnas hexagonales y canales, de 2 µm de ancho y diferentes longitudes), en el asentamiento de esporas de *Ulva*, encontrando que en todos los casos hay una limitación significativa de la fijación de las esporas; sin embargo, la combinación de varillas de 2, 4, 8, 12 y 16 µm de longitud fue el tratamiento que mejores resultados arrojó. Sobre estos aspectos Howell & Behrends (2006), hacen una revisión extensa de los logros obtenidos.

En la bahía de Coqueiros (Brasil), de Sá y cols. (2007), ensayaron el efecto de la limpieza manual del biofouling en el cultivo de *P. perna*, y luego de 10 meses los organismos del tratamiento "sin fouling" alcanzaron medias de 77,6 mm. de talla y 11,52g peso fresco, frente a los 72,2 mm. y 9,82g del tratamiento "con fouling". Los organismos "sin fouling" alcanzaron la talla comercial en 9 meses y los "con fouling" a los 10 meses. Se trata de una alternativa que adaptada adecuadamente a la realidad peruana, podría resolver en gran medida la producción de biofouling, y con ello mejorar la calidad del producto y por otro lado reducir la presión al ecosistema por la disposición de materia orgánica que representa el desarrollo y manejo del biofouling en el cultivo de *A. purpuratus*.

## Conclusiones

---

- En el Perú, no se cuenta con suficientes estudios básicos sobre el desarrollo del biofouling en todo su ámbito marino.
- En el cultivo industrial de *A. purpuratus* en el Perú, aun no se aplican medidas para controlar o mitigar los impactos negativos que ocasiona el biofouling; y tampoco se han cuantificado las pérdidas económicas que ello equivale.
- Se puede señalar que el biofouling ocasiona impactos negativos en el cultivo de *A. purpuratus* en el Perú, en tres aspectos básicos:
  - a) incremento importante en los costos de operación de las empresas acuícolas, generados por el aumento en el peso de las estructuras de cultivo, deterioro de estas, y las actividades propias para extraer, disponer y tratar los residuos
  - b) condiciones desfavorables para la crianza de *A. purpuratus*, al limitar el flujo de agua hacia el interior de las linternas y con ello la disponibilidad de oxígeno; competencia por oxígeno y alimento con los organismos en cultivo; deterioro de las condiciones químicas al interior de las linternas por liberación de metabolitos; que en conjunto generan

pérdidas significativas en peso y mortalidad, que no habiendo sido estudiadas sistemáticamente, no se advierte el impacto económico.

c) impactos al ecosistema, debido a las biodeposiciones y los propios cuerpos, dispuestos en los mismos lugares de cultivo, pudiendo convertir la actividad en insostenible.

## Recomendaciones

En tanto se desarrolle tecnología adecuada para el control del biofouling en cultivos marinos, se podría ensayar su control a través de un recambio más frecuente de las linternas.

## Agradecimientos

El autor quiere expresar su agradecimiento al Dr. Álvaro Tresierra Aguilar por la lectura crítica del manuscrito y sus recomendaciones.

## Bibliografía

1. Aguilar S. & J. Mendo. 2002. Análisis de la comunidad asociada a bolsas colectoras comerciales de concha de abanico *Argopecten purpuratus* en la bahía Independencia, Pisco. In J. Mendo & M. Wolf (eds.), *Memorias I Jornada Científica "Bases ecológicas y socioeconómicas para el manejo de recursos vivos de la Reserva Nacional de Paracas"*. Univ. Nac. Agraria La Molina. Lima, Perú. pp. 33-36.
2. Abarzua S. & 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.
3. Almeida X. da, E. B. Perez, T. Filgueiras, B. Lopez & R. Crespo. 2008. Effects of disturbance area on fouling communities from a tropical environment: Guanabara bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian J. of Oceanography* 56(2):73-84.
4. Arakawa KY (Translated by Gilmore, R.B.). 1980. Prevention and removal of fouling on cultured oysters: A handbook for growers. Maine Sea Grant Technical Report 56. 38 p.
5. Arakawa K.Y. 1990. Competitors and fouling organisms in the hanning culture of the pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Mar. Beba. Physiol.* 17(2):67-94.
6. Avendaño M., M. Le Pennec & M. Cantillanez. 2001. Anormalidades en larvas de *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) (Mollusca: Pectinidae), uno de los problemas en la producción artificial de semilla. *Estud. Oceanol.* 20:33-42.
7. Avendaño R., C. Riquelme, R. Escribano & N. Reyes. 2001. Sobrevivencia y crecimiento de post-larvas de *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) en Bahía Inglesa, Chile: efectos del origen, distribución en la bahía y bacterioflora larval. *Rev. chil. hist. nat.* 74(3).
8. Baltazar P. 2009. Cultivo de tilapia en Perú. *Infopesca Internacional* (40): 21-26.
9. Barreiro M., J. Quintela & M. Ruiz. 2004. TBT e imposex en Galicia: los efectos de un disruptor endocrino en poblaciones de gasterópodos marinos. *Ecosistemas* 13(3):13-29.
10. Callow M. & J. Callow. 2002. Marine biofouling: a sticky problem. *Biologist* 49(1):10-14.
11. Cano J., M. Campos & G. Román. 2000. Growth and mortality of the king scallop grown in suspended culture in Malaga, Southern Spain. [Aquaculture International 8\(2-3\)](#).
12. Claereboudt M., D. Bureau, J. Cote, & J. Himmelman. 1994. Fouling development and its effect on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Aquaculture* 121(4): 327-342.
13. Da Gama B., R. Pereira, A. Soares, V. Teixeira & Y. Yoneshigue-Valentin. 2003. Is the mussel test a good indicator of antifouling activity? A comparison between laboratory and field assays. *Biofouling* 19(supl.):161-169.



14. Da Gama B., A. Carvalho, K. Weinder, R. Soares, R. Coutinho, B. Fleury, V. Texeira & R. Pereira. 2008a. Antifouling activity of natural products from Brazilian seaweeds. *Botánica Marina* 51:191-201.
15. Dahms H.U., X. Ying & C. Pfeiffer. 2006. Antifouling potential of cyanobacteria: a mini-review. *Biofouling* 22(5):317-327.
16. De Sá F., R. Nalesso & K. Paresque. 2007. Fouling organisms on *Perna perna* mussels: is it worth removing them? *Brazilian Journal of Oceanography* 55(2):155-161.
17. DINARA-FAO. 2008. Política Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en la República Oriental del Uruguay. Proyecto Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura TCP/URU/3101. Montevideo, Uruguay. 28 p.
18. Durr S. & D. Watson. 2009. Biofouling and antifouling in aquaculture. In *Biofouling*, S. Durr & J. Thomson (eds.), Chapter 19, 267-286. John Wiley & Sons. USA.
19. Echeverría F., N. Aguirre, J. Castaño, A. Valderrama, J. Peña & C. Giudice. 2007. Caracterización fisicoquímica y biológica de la bahía de Cartagena en la zona de Mamonal para la evaluación de pinturas antiincrustantes en condiciones críticas. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* (39):7-20.
20. Eguía E. 2000. Patentes antiincrustantes de base vinílica y de clorocaucho aplicadas sobre estructuras artificiales en la bahía Santander. *Estudios e Investigaciones Marinas* 1(1):5-12.
21. Eguía E., A. Trueba, R. Río & M. Girón. 2006. Recent studies on antifouling systems to artificial structure in marine ecosystem. *J. of Maritime Research* 3(1):73-89.
22. Encomendero E., F. Merino, F. Uchpa & R. Vásquez. 2006. Efecto de los poliquetos epibiontes sobre la concha de abanico, *Argopecten purpuratus*, cultivada en el Dorado, Chimbote-Perú. V Seminario Virtual Pesca y Acuicultura. <[http://www.oannesmar.org/seminario/2006\\_Pesca\\_Acuicultura/poliquetosepibiontes.htm](http://www.oannesmar.org/seminario/2006_Pesca_Acuicultura/poliquetosepibiontes.htm)>. Acceso 27/03/2010.
23. Evans M., T. Leksono & P. McKinnell. 1995. Tributyltin pollution: A diminishing problem following legislation limiting the use of TBT-based anti-fouling paints. *Marine Pollution Bulletin* 30(1):14.
24. Galeno D. & M. Barbieri. 1999. Temperatura superficial del mar de satélites NOAA y captación de semilla de *Argopecten purpuratus* en Bahía Inglesa, Chile. *Invest. Mar., Valparaíso* 27: 119-123 (Nota Científica).
25. García-Pardo A., A. Cavalcanti & R. Freitas. 2007. Parques acuícolas marinhos: uma actividade viável e sustentável. *Rer. Bars. de Agroecologia* 2(2):1740-1743.
26. Hincapié-Cárdenas C. 2007. Macrobiofouling on open-ocean submerged aquaculture cages in Puerto Rico. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Marine Sciences, University of Puerto Rico Mayagüez Campus. Mayagüez, Puerto Rico.
27. Howell D. & B. Berhrends. 2006. A review of surface roughness in antifouling coating illustrating the importance of cutoff length. *Biofouling* 22(6):401-410.
28. Jorge A. 2004. Biodeposiciones del cultivo de mejillón de acuicultura en Galicia: ¿contaminante o recurso? III Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura, Comunicación Técnica CIVA (<http://www.civa2004.org>):1-9. Acceso 02/02/2010.
29. LeBlanc A., T. Landry & G. Miron. 2002. Fouling organisms in a mussel cultivation bay: their effect on nutrient uptake and release. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci* 2431:1-16.
30. Leblanc A., T. Landry & G. Miron. 2003. Fouling organisms of the blue mussel *Mytilus edulis*: their effect on nutrient uptake and release. *Journal of Shellfish Research* 22(3):633-638.
31. Lesser P., S. Shumway, T. Cucci & J. Smith. 1992. Impact of fouling organisms on mussel rope culture interspecific competition for food among suspension-feeding invertebrates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 165:91-112.
32. Li X., S. Dobretsov, Y. Xu, X. Xiao, O. Shing & P. Quian. 2006. Antifouling diketopiperazines produced by a deep-sea bacterium, *Streptomyces fungicidus*. *Biofouling* 22(3):201-208.
33. Maguire J. & G. Burnell. 1999. The potential for scallop spat collection in Bantry Bay, Ireland. *Biology and Environment: Proceedings Of The Royal Irish Academy* 99b(3):183-190.
34. Marszalek D., S. Gerchakov & L. Udey. 1979. Influence of substrate composition on marine microfouling. *Applied and Environmental Microbiology* 38(5):987-995.
35. Mazouni N., J. Gaertner, J. 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.* 214: 93-102.
36. Medeiros E., B. Perez & G. Gellerani. 2007. Antifouling activity of seaweed extracts from Guarujá, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 55(4):257-264.

37. Méndez C., C. 2007. Asentamiento de bioincrustantes en actividades de acuicultura. *Ciencia...Ahora* 20(10):41-45.
38. Ministerio de la Producción. 2010a. Plan Nacional de desarrollo Acuícola. <http://www.produce.gob.pe/pesqueria/publicaciones/2010/enero/ds001-2010-produce.pdf>. Acceso 27/03/2010.
39. Ministerio de la Producción. 2010b. Areas habilitadas por DICAPI para desarrollar actividades de acuicultura. <<http://www.produce.gob.pe/descarga/produce/dna/area.maricultura.pdf>>. Acceso 06/02/2010.
40. Navarro J. 2001. Fisiología energética de pectinidos Iberoamericanos. In A. Maeda-Martínez (ed.), *Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*, Cap. 3:61-76. Edit. Limusa, México, D.F., México.
41. Oliveira B. M. de. 2005. Estimativa da matéria sólida orgânica produzida por mexilhões *Perna perna* em áreas de produção na baía da Babitonga-SC. Tesis Maestre em Engenharia Ambiental, Univ. Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil. 62 p (NO incluida en el texto).
42. Pacheco A. & A. Garate. 2005. Bioincrustantes en estructuras de cultivo de *Argopecten purpuratus* en bahía Samanco, Perú. *Ecología Aplicada* 4(1,2):149-152.
43. PIRSA Aquaculture SA. 2001. Potential for Scallop Aquaculture in South Australia. Primary Industries and Resources South Australia. <[www.pir.sa.gov.au](http://www.pir.sa.gov.au)>. Acceso 15/02/2010.
44. Portillo E. 2002. Control biológico del fouling de cultivo de microalgas mediante el gasterópodo *Osilinus atratus* (Word, 1828). *Bol. Inst. Español Oceanog.* 18(1-4):401-404.
45. Quiñónes J. 2006. Exportaciones peruanas mercados de los productos de la acuicultura. Convención Nacional oportunidades de negocios en acuicultura, Lima, 3 de abril 2006. Prompex. Lima, Perú (NO incluida en el texto).
46. Román G., G. Martínez, O. García & L. Freitas. 2001. Capítulo 2: Reproducción, In Maeda-Martínez, A. (ed.), *Los moluscos pectinidos de Iberoamérica: Ciencia y acuicultura*. Edit. Limusa. Mexico D.F., Mexico. pp. 27-59.
47. Ross K., J. Thorpe & A. Rand. 2004. Biological control of fouling in suspended scallop cultivation. *Aquaculture* 229(1-4):99-116.
48. Sanches G., J. dos Santos, L. Liberati, M. Rodríguez. 2007. Eficiência da escavação no controle de incrustações biológicas em tanques-rede. *Arq. Cienc. Fortaleza* 40(2):37-41.
49. Sauer K. & N. Baptista. 2007. Análise de propriedade antiincrustante em cinco espécies de macroalgas marinhas da praia do Poá-Penha, S.C. *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brazil*, 23 a 28 de setembro de 2007, Caxambu-MG. Brazil. 2p.
50. Sharp G., N. MacNair, E. Campbell, A. Butters, A. Ramsay & R. Semple. 2006. Fouling of mussel (*Mytilus edulis*) Collectors by Algal Mats, Dynamics, Impacts and Symptomatic Treatment in P.E.I. Canada. *Science Asia* 32 Supplement 1:87-97.
51. Schumacher J., M. Carman, T. Estes, A. Feinberg, L. Wilson, M. Callow, J. Callow, J. Finlay & A. Brennan. 2007. Engineered antifouling microtopographies – effect of feature size, geometry, and roughness on settlement of zoospores of the green alga *Ulva*. *Biofouling* 23(1-2):55-62.
52. Su Z., Xiao, H., Y. Yan, Y. & L. Huang. 2008. Effect of Fouling Organisms on Food Uptake and Nutrient Release of Scallop (*Chlamys nobilis*, Reeve) Cultured in Daya Bay. *J. Ocean Univ. Chin. (Oceanic and Coastal Sea Research)* 7(1):93-96.
53. Sutherland P. & R.H. Karlson. 1977. Development and stability of fouling community AL Beaufort, North Carolina. *Ecological Monographs* 47(4):425-426.
54. UICN. 2007. Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea. Interacciones entre la Acuicultura y el Medio Ambiente. UICN, Gland, Suiza y Málaga, España. 114 p.
55. Uribe E., C. Lodeiros, E. Félix-Pico & I. Etchepare. 2001. Epibiontes en pectinidos de Iberoamérica. In A. Maeda-Martínez (ed.), *Los moluscos pectinidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*, Cap. 13:249-266. Edit. Limusa, México, D.F., México.
56. Uribe E. & J. Blanco. 2001. Capacidad de los sistemas acuáticos para el sostenimiento del cultivo de pectinidos: el caso de *Argopecten purpuratus* en la Bahía Tongoy, Chile. In A. Maeda-Martínez (ed.), *Los moluscos pectinidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*, Cap. 12:233-248. Edit. Limusa, México, D.F., México.
57. Tureck R. & T. de Oliveira. 2003. Sustentabilidade ambiental e maricultura. *Revista Saúde e Ambiente Joinville* 4(2):22-26.
58. Villarroel E., E. Buitrago & C. Lodeiros. 2004. Identificación de factores ambientales que afectan al crecimiento y la supervivencia de *Crassostrea rhizophorae* (Mollusca: Bivalvia) bajo condiciones de cultivo suspendido en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ* 14(1):28-35.

59. Vita R., A. Marín, J. Madrid, B. Jiménez-Brinquis A. César & L. Marín-Guirao. 2002. Impacto ambiental de la acuicultura en el bentos marino: experimentos de exclusión – inclusión. Bol. Inst. Esp. Oceanog. 18(1-4):75-86.
60. Wahl M. 1989. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some Basic aspects. Mar. Ecol. Prog. Ser. 58:175-189.
61. Watson D. 2006. Control Biológico del biofouling en la acuicultura. Collective Research on Aquaculture Biofouling (CRAB). Disponible en <http://www.crabproject.com>.
62. Willemsen R. 2006. Biofouling in European aquaculture: is there an easy solution? <<http://www.crabproject.com/index.php/uk/57/publications>>. Acceso 27/03/2010. (NO incluida en el texto)
63. Zapata M., F. Silva, Y. Luza, M. Wilkens & C. Riquelme. 2007. The inhibitory effect of biofilms produced by wild bacterial isolates to the larval settlement of the fouling ascidia *Ciona intestinalis* and *Pyura praeputialis*. Electronic Journal of Biotechnology 10(1), Issue of January 15.