

Estudios Sociales  
45

## Eficiencia técnica y ambiental de la camaronicultura en Nayarit aplicando el índice de Malmquist

Technical and environmental efficiency  
of shrimp farming in Nayarit  
applying Malmquist Index

*Francisco Javier Martínez-Cordero\**  
*Edgar Sánchez-Zazueta\**  
*Verónica Aguilar Medina\*\**  
*Ricardo Pérez Enriquez\*\*\**

Fecha de recepción: julio de 2013

Fecha de aceptación: diciembre de 2014

\* CIAD, Unidad Mazatlán

Dirección para correspondencia: [cordero@ciad.mx](mailto:cordero@ciad.mx)

\*\*Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Nayarit

\*\*\* CIBNOR



## Resumen / Abstract

A partir de una base de datos no homogénea de 32 granjas de camarón en Nayarit para el periodo 2008-2011, el presente estudio aplica el índice de Malmquist para analizar su eficiencia técnica ET y ambientalmente ajustada EAA de una empresa o industria acuícola sostenible. Los resultados indican que los niveles de ET y EAA se han mantenido arriba de 0.80 y 0.75 en promedio, respectivamente. En general, los resultados confirman estudios regionales previos del cultivo de camarón, en función de que los rendimientos (kg/ha/año) pueden ser decrecientes por causa de las enfermedades virales. Se recomienda aplicar estos indicadores de manera continua para asistir la planificación y toma de decisión tanto a nivel empresa como industria.

Palabras clave: eficiencia técnica, eficiencia ambientalmente ajustada, camaronicultura, desarrollo sostenible, Índice Malmquist.

From a non-homogeneous database of 21 shrimp farms in the State of Nayarit, for the period 2008-2011, this study applies the Malmquist Index to analyze technical ET and environmentally adjusted EAA efficiencies of a sustainable aquaculture industry or farm. The results indicate that the levels of ET and EAA have remained above 0.80 and 0.75 in average, respectively. Overall, the results confirm previous regional studies of shrimp farming economic performance, where yields (kg/ha/yr) may be decreasing due to viral diseases. It is recommended to apply these indicators on a permanent basis, to assist planning and decision making at enterprise and industry levels.

Key words: technical efficiency, environmentally adjusted efficiency, shrimp farming, sustainable development, Malmquist Index.



## Introducción

Se presentan los resultados de un estudio de eficiencia técnica (ET) y ambientalmente ajustada (EAA) del cultivo de camarón a nivel comercial en un grupo de granjas en Nayarit, México. En la primer parte del artículo se describe la ET como indicador económico, así como su modificación en EAA, la cual toma en cuenta la generación de productos no deseados (o subproductos) en el proceso productivo, específicamente, en este caso, nitrógeno y fósforo, que son descargados en los efluentes de las granjas y que impactan el medio ambiente. Posteriormente, se presenta el modelo de evaluación aplicado, detallando la metodología considerada en cada caso, e incluyendo el balance de masas que permite calcular las descargas al medio ambiente por granja. Finalmente, se presentan y discuten los resultados en la serie de tiempo de cuatro años, desde el punto de vista económico y del futuro de esta actividad industrial en el estado de Nayarit.

### El marco conceptual

Productividad es un determinante de competitividad, importante para las empresas de manera individual, o para la industria agregada. Sin embargo, la estadística oficial de la industria acuícola en el país, reportada por la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (Conapesca) se enfoca en rendimiento (kg/ha/año o t/ha/año). Este indicador no es el más adecuado de acuerdo a dos criterios: primero, el producto objeto del cultivo (camarón) no es resultado del uso de un solo insumo de producción (terreno), sino de la combinación de varios de ellos, por lo que es deseable que el indicador refleje esta característica apropiadamente.



Segundo, indicadores como rendimiento nada aportan con relación al análisis de cómo se usaron los insumos para alcanzar este producto, es decir, en el análisis de rutas óptimas de combinaciones insumo-producto. Eficiencia, definida por Fried *et al.*, (1993) como la comparación entre los valores observado y óptimos de combinaciones de insumos/producto, es un indicador robusto de comportamiento económico productivo. Una unidad de producción es más eficiente cuando está más cercana a la frontera de su tecnología.

Los reportes publicados de evaluaciones de eficiencia y productividad acuícola han incluido una diversidad de especies, regiones y sistemas. Solo por referir algunos, Gunaratne y Leung (1996, 1997) y Uma (2007) analizan la eficiencia para el cultivo de camarón en Asia; en cultivo de carpa en esa región lo hacen Sharma y Leung (1998), Iinuma, Sharma y Leung (1999), Sharma y Leung (2000a y b). Para cultivo de tilapia se han publicado los estudios de Dey *et al.* (2000) y Bimbao *et al.*, (2000); en piscicultura de agua dulce Kolawole y Akinbogun (2010), Pantzios, Karagiannis y Tzouvelekas (2011) Singh *et al.*, (2009). Tsue, Lawal y Ayuba (2012) analizan eficiencia en el cultivo de bagre en Nigeria, Dey *et al.*, (2010) para cultivos integrales en Malawi; Ferdous (2011) para cultivo de pangas en Bangladesh y Hassanpour *et al.*, (2010) para cultivo de trucha en Irán. Estudios para maricultura incluyen Karagiannis, Katranidis y Tzouvelekas (2000), Tveteras y Battese (2000) y Vassdal y Roland (1998). Martínez-Cordero, FitzGerald Jr y Leung (1999) quienes analizan productividad total de factores en policultivos en Indonesia.

Es deseable que evaluaciones del comportamiento económico de las empresas sean una práctica establecida, a partir de una primera medición que pudiera constituirse como línea base. En particular para empresas de producción primaria sujetas a tanta variabilidad por factores externos como el cultivo de camarón, es importante analizar la eficiencia relacionándola con la evolución de esta biotecnología y, especialmente, con los fuertes impactos que la actividad ha tenido, de manera intermitente, por enfermedades virales desde la mitad de la década de los noventas. Si dentro de todo este marco el indicador de eficiencia permite también capturar el posible impacto ambiental de la actividad, se cuenta entonces con un parámetro que permite dar seguimiento al desarrollo sostenible de la actividad, tal como lo discuten Martínez-Cordero y Leung (2006a).

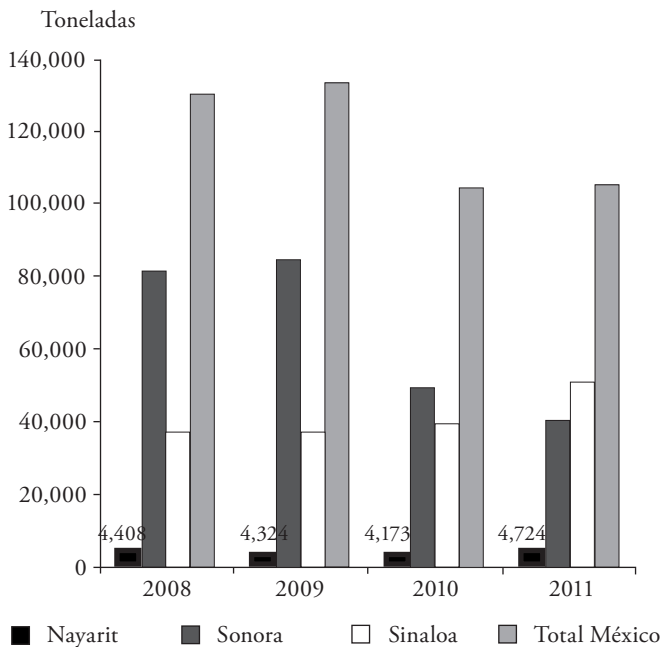
## El marco de referencia

En el caso de México solo hay dos estudios reportados de eficiencia en la industria acuícola, ambos para cultivo de camarón en la región noroeste: Martínez-

Cordero y Leung (2004 y 2006b). El primero de ellos permite a los autores, con un enfoque acuícola, reportar en la bibliografía científica la adaptación de los indicadores tradicionales de eficiencia para incorporar en su medición la generación de productos no deseados o subproductos, obteniendo así la eficiencia ambientalmente ajustada, dado que estos productos no deseados tienen un efecto negativo en el medio ambiente. Estos dos estudios previos no incluyeron en su medición al estado de Nayarit.

En relación al camarón y su cultivo en México, se conoce que es la especie con mayor producción por volumen en México. Para la serie de tiempo analizada en este trabajo, alcanzó un máximo de 115,148 toneladas en 2011 (Conapesca, 2012). La gráfica 1 muestra la producción total en el periodo 2008-2011 de los estados de Sinaloa, Sonora y Nayarit que, sumados, alcanzaron en 2011 un 91.5% del total nacional.

Gráfica 1. Producción total de camaronicultura en los estados de Sinaloa, Sonora y Nayarit en los últimos cuatro años



Fuente: Conapesca, 2012.

Tal como lo ha sido en la mayoría de los países con importante producción camarónica en el mundo, las enfermedades virales se han convertido desde mediados de los noventa, en el principal factor de riesgo e incertidumbre para la



industria en México. El estado de Sinaloa, tradicionalmente líder productor de camarón por cultivo, ha sido impactado fuertemente por esta enfermedad; Sonora, en los últimos dos años, ha visto sus producciones acuícolas diezgadas. En el estado de Sinaloa, esto se refleja en granjas cerradas a la producción o en operación intermitente ante las pérdidas económicas en cada ciclo de producción, lo cual se convierte al final en infraestructura inoperante y empleos perdidos.

Sin embargo, el esfuerzo tripartita entre la industria, el gobierno y las universidades y centros de investigación ha permitido que en estados como Sinaloa y Nayarit, con importantes afectaciones de enfermedades por casi veinte años, no solo la continuidad del cultivo se haya logrado, sino las prácticas sean mejores, reflejando una adaptación del cultivo a la enfermedad. Sigue siendo importante analizar el comportamiento productivo de la industria y sus componentes de medio ambiente relacionados, considerando que el manejo del cultivo, que determina sus descargas al medio ambiente, puede ser la externalidad negativa que incida en la presencia de enfermedades virales en la camaronicultura en el país.

### **Objetivo de la investigación**

Analizar la eficiencia técnica (ET) y ambientalmente ajustada (EAA) de las granjas de camarón en Nayarit, y relacionar los resultados con el desarrollo sostenible de esta actividad productiva primaria.

### **Materiales y métodos**

La aplicación y adecuación del índice de Malmquist implicó una serie de pasos que se presentan a continuación. Inicialmente se describe la información primaria que se utilizó en el estudio. Posteriormente, se presenta el índice de Malmquist que permite el cálculo de la ET y su ajuste para el cálculo de la EAA, ambos a partir de funciones de distancia. La descarga de los productos no deseados (nitrógeno y fósforo en los efluentes de granjas) se calculó de manera indirecta utilizando un balance de masas, que se presenta a continuación. Finalmente, se detalla la programación lineal que, a partir del método del Análisis Envoltente de Datos (DEA en inglés), se aplicó para el cálculo de ambos indicadores.

### **Datos de fuente primaria**

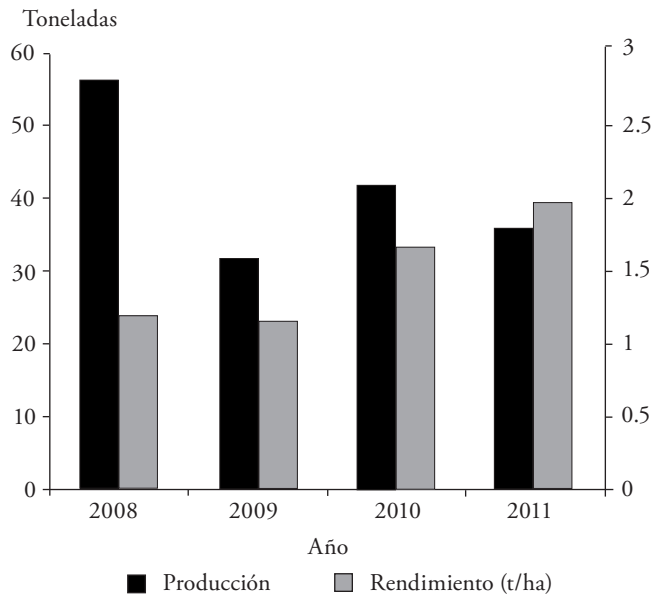
A través del Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Nayarit (Cesamay), se recopiló información primaria de insumos y productos de granjas co-



merciales de cultivo de camarón en el estado de Nayarit, en el periodo 2008-2011. La base de datos es heterogénea, con un total de 32 empresas provenientes de las Juntas Locales de Sanidad Acuícola (JLSA) de Rosamorada (20) y Tecuala (12), aportando información, desglosada por año de la siguiente manera: en 2008, 4 granjas; 2009, 26 granjas; 2010, 28 granjas y 2011, 10 granjas. Las gráficas 2 y 3 y la tabla 1 resumen la estadística descriptiva de operación de las granjas incluidas en el análisis. Algunos aspectos que resaltan son los siguientes:

La producción en ambas JLSA, con base en la información disponible, cayó drásticamente en 2009 como causa de impactos de enfermedades, a partir de un valor promedio de 56 toneladas a 35.7 (2011). Por otro lado, el rendimiento promedio en las granjas participantes sigue una tendencia positiva en los cuatro años, pasando de 1.18 t/ha a 1.96 t/ha en 2011: un 66% de incremento. Es interesante este comportamiento a partir de la caída de producción total por enfermedades (con efecto principal en 2009), pues refleja medidas correctas de manejo en la producción para alcanzar más rendimiento aún con la presencia de enfermedades virales,<sup>1</sup> Este resultado será muy interesante de evaluar cuando se determinen más adelante las eficiencias técnica y ambientalmente ajustada.

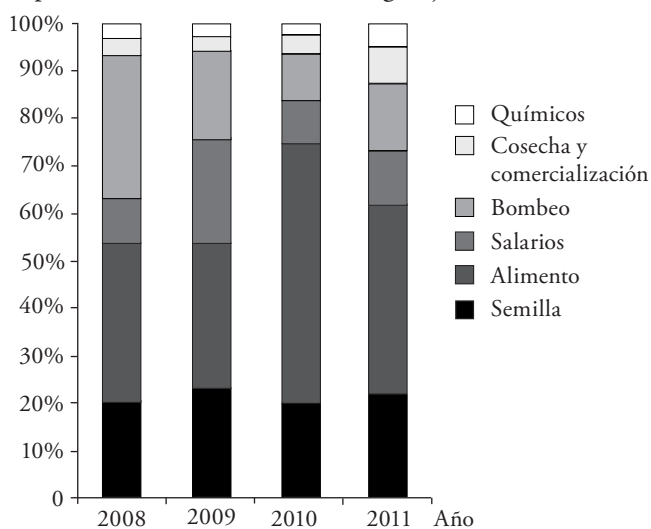
Gráfica 2. Tendencia histórica (2008-2011) de producción total y rendimiento de las granjas de Nayarit participantes en el estudio



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Nayarit.

<sup>1</sup> Los positivos reportados del virus de la mancha blanca en el estado son anualmente: 28, 54, 22 y 38 para los años 2008-2011, respectivamente (fuente: Cesanay).

Gráfica 3. Proporción de cada insumo en el costo total de producción de camarón en las granjas analizadas



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Nayarit.

Tabla 1. Estadística económica descriptiva de la operación de las granjas de camarón analizadas en el estado de Nayarit

	2008	2009	2010	2011
Producción	2,125,000 700,000 3,480,000	1,268,692 120,000 4,680,000	1,708,464 135,000 5,400,000	1,561,900 400,000 3,029,000
Alimento	378,080 8,820 1,080,000	391,708 10,500 1,600,000	611,575 11,500 3,120,000	466,400 180,000 936,000
Postlarva	235,000 60,000 455,000	172,163 20,000 660,000	214,636 25,000 962,000	256,560 60,000 1,198,000
MO y salarios	108,750 30,000 215,000	72,346 10,000 210,000	98,564 10,000 300,000	131,580 20,000 300,000
Cosecha y comercialización	32,500 5,000 70,000	21,308 2,000 70,000	39,500 0 240,000	86,100 5,000 240,000
Químicos	41,500 3,000 80,000	20,923 1,000 70,000	27,464 0 100,000	54,400 2,000 115,000
Bombeo	348,250 50,000 1,200,000	62,962 8,000 600,000	109,393 2,000 1,200,000	117,500 50,000 320,000

Fuente: Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Nayarit, 2013.

Los ingresos por producción de camarón en el periodo 2008-2011 tienen una caída a partir del primer año evaluado. Hay una recuperación en el 2010, pero en 2011 nuevamente baja. Si bien esta estadística se considera que está influida por el tipo específico de granja que participó en el estudio, refleja nuevamente el efecto de las enfermedades virales. La curva de ingresos, como era de esperarse, se comporta similar a la de producción pues no hubo factores externos en el mercado que permitieran un mejor precio de venta.

El desglose de los costos de operación muestra que el alimento es el insumo más caro, con excepción del año 2008 cuando el bombeo lo supera. En los años 2009 y 2010, especialmente, el gasto por alimento es muy alto, lo que habla del impacto por enfermedades, pues se presentan altas mortalidades con los ciclos ya avanzados y la tasa de conversión alimenticia (TCA) es alta. Con excepción del año 2008 en el que el costo de bombeo se incrementó significativamente como estrategia urgente de ajuste ante los brotes virales, el uso de agua mediante bombeo es realmente muy eficiente en el cultivo de camarón en las empresas evaluadas. El costo de la poslarva se mantiene entre el segundo y tercero más importante de producción. Gasto en químicos y en cosecha-comercialización son los rubros menos significativos.

### **Eficiencia técnica (ET)**

Las medidas de eficiencia técnica en un sistema productivo pueden ser desde el punto de vista de insumos o de productos. La eficiencia técnica desde el punto de vista de insumos indica en cuánto pueden las cantidades de insumos ser proporcionalmente disminuidas sin alterar las cantidades de producto obtenidas. La eficiencia técnica desde el punto de vista de productos analiza por cuánto pueden las cantidades de producto ser proporcionalmente aumentadas sin alterar las cantidades de insumos utilizados.

Se sigue en este estudio el enfoque de insumos y se determina la eficiencia conocida como de Debreu-Farell, a partir del método de la función de distancia explicado a continuación en su modelación matemática.

### **El método de la función de distancia**

De la misma manera como la función producción define la máxima producción que se puede generar de un vector exógeno de insumos, la función de distancia

con el enfoque de insumos describe qué tan lejos está un vector de insumos de la frontera representativa de ese *set* de insumos, dado un vector fijo de productos.

De acuerdo con Fare y Primont (1997), un vector  $N$  de insumos, nombrado  $x=(x_1, \dots, x_N)$ , un vector  $M$  de productos nombrado por  $y=(y_1, \dots, y_M)$ , y un *set* tecnológico  $T= \{(x, y): x \in R_+^N, y \in R_+^M, x \text{ can produ y}\}$  definen la siguiente función producción:

$$F: R_+^N \longrightarrow R_+^M \quad (1)$$

$$F(x) = \max_y \{y : (x, y) \in T\} \quad (2)$$

El conjunto de insumos requeridos se define como:

$$L(y) = \{x: (x, y) \in T\} \quad (3)$$

donde  $T$  es el conjunto de todos los vectores factibles insumo-producto, tal que

$$T = \{(x, y) : x \in L(y), y \in R_+^M\} \quad (4)$$

La función de distancia de insumos está dada por:

$$Di(y) = \sup_{\lambda} \left\{ \lambda > 0 : \left( \frac{x}{\lambda} \right) \in L(y) \right\} \quad (5)$$

La ecuación 5 mide la máxima contracción equiproporcional de todos los insumos, consistente en mantenerse en el vector de productos para una tecnología dada. En otras palabras, la función de distancia de insumos es la mayor contracción radial del vector de insumos para un vector de productos dado, y que sea consistente dentro del conjunto de posibilidades de producción.

Una forma de medir el grado de la eficiencia de insumos es calcular la función de distancia. A mayor valor de la función de distancia, menos eficiente es  $x$  en producir  $y$ . Si, por el contrario, el recíproco de la función de distancia se calcula, entonces una medida de la distancia se obtiene que está ubicada entre los valores 0 y 1, que toma valores mayores conforme más eficiente es  $x$  en producir  $y$ . La eficiencia técnica de Debreu-Farrell, en un enfoque de insumos, es entonces:

$$TE_x(y, x) = \frac{1}{D(y, x)} \quad (6)$$

La medida de cambio de la eficiencia técnica con enfoque de insumos está definida como la tasa a la cual los insumos pueden ser proporcionalmente disminuidos en el tiempo, sin cambiar el nivel de producto, esto es:

$$TCx(y, x) = \frac{\partial D(y, x)}{\partial t} \quad (7)$$

### Eficiencia técnica ambientalmente ajustada (EAA)

Las propiedades estandar de la función de distancia, cuando solo productos deseables son obtenidos, debe ser distinguida de la que se usa en este estudio en el que se incorporará un producto deseable (camarón) y al menos dos no deseables (fósforo P y nitrógeno N descargado). De acuerdo con Hailu y Veeman (2000), la formulación del modelo considera que los productos deseables son dispuestos sin costos, pero la reducción de productos no deseables (o abatimiento de la contaminación) no es gratis. Ignorando cambio tecnológico, los productos no deseables pueden ser reducidos a través del uso adicional de insumos para su abatimiento, si el nivel de productos deseables se quiere mantener. Estos insumos extra y sus correspondientes costos extra pueden ser cualquiera de los empleados en el proceso productivo.

Dado que el índice de Malmquist fue originalmente formulado en la teoría del consumidor como un índice del estándar o nivel de vida, su aplicación a la teoría de producción es posible. El método de la función de distancia utilizado en la determinación de eficiencia en este trabajo, puede utilizarse aprovechando su estrecha relación con la determinación de productividad, dado que las funciones de distancia son índices de cambio tecnológico, o diferencias en tecnologías entre unidades de producción, asumiendo que las unidades de producción operan eficientemente.

### Forma funcional de la función producción

La propia selección de la forma funcional para representar un proceso productivo es otro procedimiento metodológico que debe realizarse con mucho cuidado pues incide directamente en los resultados obtenidos. Basados en Christensen, Jorgenson y Lau (1973), la forma funcional translog flexible fue seleccionada para representar a la tecnología de producción de camarón en cultivo (función de distancia de insumos), y es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 hD(y, x, t) = & \alpha_0 + \sum_{n=1}^N \alpha_n \cdot 1n x_n + \sum_{m=1}^M \beta_m \cdot 1n y_m + (0.5) \sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N \alpha_{nn} \cdot 1n x_n \cdot 1n x_n + \\
 & (0.5) \sum_{m=1}^M \sum_{m=1}^M \beta_m \cdot 1n y_m + (0.5) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \gamma_{nm} \cdot 1n x_n \cdot 1n y_m + \alpha_t \cdot t + (0.5) \alpha_{tt} t^2 + \\
 & \sum_{n=1}^N \alpha_n \cdot t \cdot 1n x_n + \sum_{m=1}^M \beta_m \cdot t \cdot 1n y_m
 \end{aligned} \tag{8}$$

donde

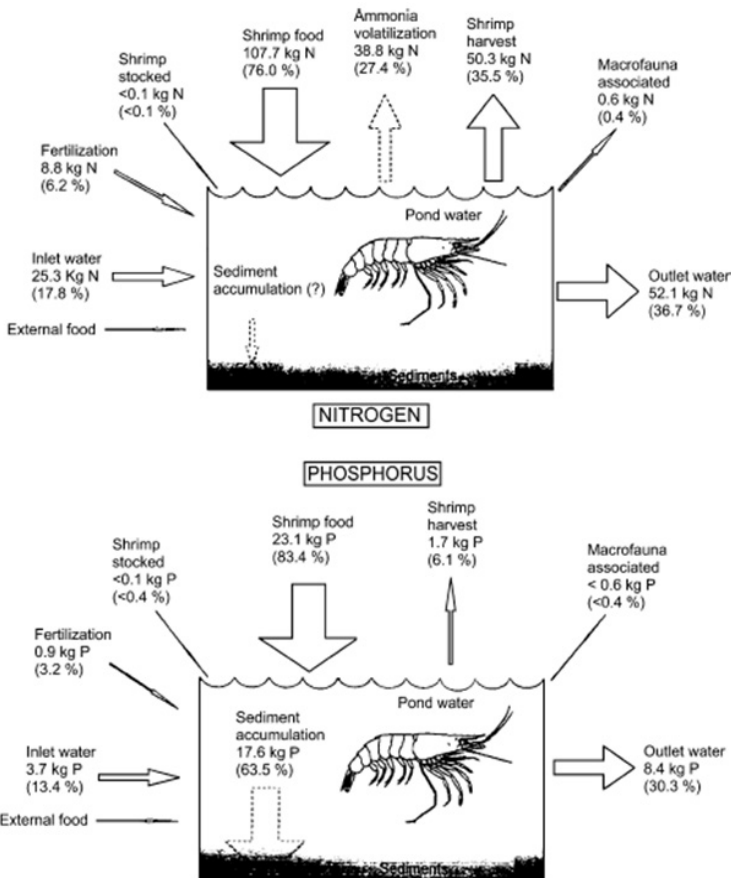
N= insumos de producción

M= productos

$\alpha, \beta, \gamma$ = valores estimados de los parámetros de la función translog de distancia

t= tiempo

Gráfica 4. Balance de masas de nitrógeno y fósforo en un estanque de cultivo de camarón utilizado para el cálculo indirecto del contenido de N y P en los efluentes en este estudio



Fuente: tomado de Páez-Osuna, 1997.

## **Balance de masas para el cálculo del nitrógeno y fósforo en los efluentes de granjas**

Para el caso de este estudio, los productos no deseables que ajustan la función producción translogarítmica de la ecuación 8 son nitrógeno y fósforo en las descargas de las granjas. Estos productos son ampliamente reconocidos como de alto impacto en el medio ambiente y son resultado del tipo de alimento utilizado, su calidad y, especialmente, las prácticas de alimentación que se implementan en cada empresa.

En el presente trabajo no hubo medición directa de estas descargas en los efluentes de las granjas. Sus valores se obtuvieron por un método indirecto que implica aplicar un balance de masas reportado en la bibliografía, en este caso se utilizó el reportado por Páez-Osuna *et al.* (1997) para cultivo de camarón en Sinaloa, mostrado en la gráfica 4. Para cada granja, estanque y ciclo de producción que se tuvo información, se calculó el total de nitrógeno y fósforo descargado en los efluentes y se insertó en la función producción 8.

## **Análisis envolvente de datos (DEA) para el cálculo de ET y ETAA**

La resolución de la ecuación 8 en este trabajo se realizó mediante un método no paramétrico de determinación de eficiencia, llamado Método Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés: Data Envelopment Analysis) (Coelli, Rao y Battese 1998; Fare, Grosskopf y Knox, 1994), para lo cual se desarrolló un código en hoja de cálculo Excel. Es así que programación matemática es utilizada para estimar los parámetros de la función de distancia no estocástica mostrada en la ecuación (8). La técnica fue inicialmente utilizada por Aigner y Chu (1968) y radica en minimizar la suma de las desviaciones de los valores de la función, de la frontera desconocida que está siendo estimada (desviaciones de la unidad). Restricciones de desigualdad se incluyen para representar el tratamiento asimétrico de los productos deseables y no deseables, de tal manera que las restricciones débiles de desigualdad para la primera derivada de la función de distancia son necesarias. El objetivo del problema es elegir el grupo de parámetros que minimizan la suma de las desviaciones de cero, de los valores logarítmicos de la función de distancia. Las condiciones de monotonicidad, homogeneidad y simetría son impuestas (Hailu y Veeman, 2000), para resolver el siguiente problema:

$$\text{Minimize}_{(\alpha, \beta, \gamma)} \sum_{k=1}^{302} \cdot lh D(y, x, t)$$

sujeto a:

$$1) \ln D(y, x, t) \geq 0, \quad t = 1, \dots, 4$$

$$2) \frac{\partial \ln D(y, x, t)}{\partial y_m} \geq 0, \quad t = 1, \dots, 4 \quad m = 1, \dots, 3$$

$$3) \frac{\partial \ln D(y, x, t)}{\partial x_n} \geq 0, \quad t = 1, \dots, 4 \quad n = 1, \dots, 4$$

$$4) \sum_{n=1}^4 \gamma_m = 0, \quad m = 1, \dots, 3$$

$$5) \sum_{n=1}^4 \alpha_{n'} = 0, \quad n' = 1, \dots, 4$$

$$6) \sum_{n=1}^4 \alpha_{n''} = 0,$$

$$7) \alpha_{n'} = \alpha_{n''} \quad n, n' = 1, \dots, 4$$

$$8) \beta_m = \beta_{m'} \quad m, m' = 1, \dots, 3$$

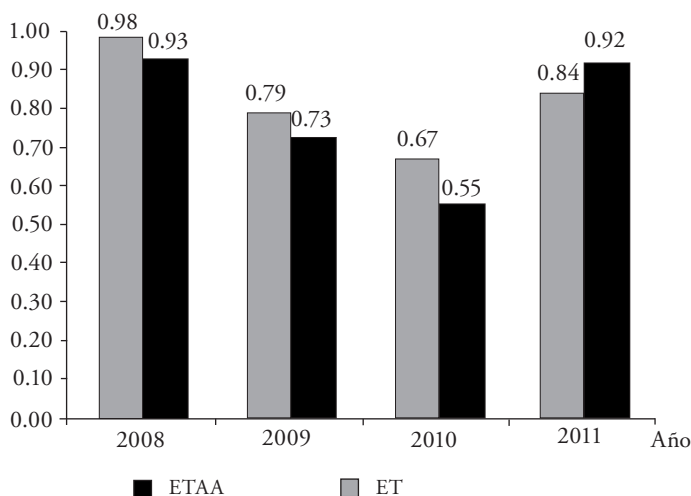
donde  $n$  and  $m$  están definidos en la ecuación 8, y  $t$  es el horizonte de tiempo analizado. Las condicionantes aseguran: 1) que la observación esté dentro de la frontera tecnológica: factible y con valor de función de distancia  $\geq 1$ ; 2) condición de monotonicidad: la función de distancia es no-decreciente en insumos; 3) la función es no-creciente en el producto (o productos) deseados; 4) la función de distancia de insumos es no-decreciente en los productos no deseables; 5) homogeneidad lineal de la función de distancia de insumos con relación a los insumos; 6, 7, 8) condiciones de simetría de la forma funcional translog.  $k$  es cada una de las observaciones.

## Resultados y discusión

La gráfica 5 muestra los resultados finales (media) de las eficiencias técnica ET y ambientalmente ajustada EAA, en la serie de tiempo analizada 2008-2011.



Gráfica 5. Eficiencia técnica (ET) y ambientalmente ajustada (ETAA) del cultivo de camarón en las juntas locales de Rosamorada y Tecuala, Nayarit. Serie histórica 2008-2011



Fuente: Este estudio, a partir de datos del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Nayarit

### Eficiencia técnica ET

Contrastando los resultados de la gráfica 5 con la prevalencia de enfermedades en las granjas analizadas, se obtiene que como resultado de los impactos de enfermedades virales en el año 2009, principalmente, aunque en 2010 también, la eficiencia técnica (uso de todos los insumos y la posibilidad de alcanzar la frontera productiva) disminuye drásticamente, pero se recupera en 2011 con un nivel promedio de 0.84. Desde el punto de vista de eficiencia de insumos, la interpretación de este resultado es que existió una posibilidad de reducir en 16%, aproximadamente, el uso del grupo de insumos de producción y alcanzar los mismos niveles de producto.

El efecto negativo de las enfermedades en la eficiencia productiva ha sido ya reportado por diversos autores, entre ellos Tveteras y Heshmati (1998) en salmón y Martínez-Cordero y Leung (2004 y 2006b) en camarón. En la agricultura y ganadería lo refieren Akinbode, Dipeolu y Ibrahim (2011) en el cultivo de arroz, Iraizoz, Bardaji y Rapun (2005) en la engorda de bovinos en España y Smale *et al.*, (2008) en cultivo de trigo en India.



Analizando conjuntamente eficiencia técnica y los porcentajes que cada insumo tuvo en los costos totales de operación en estos cuatro años (gráfica 3), se obtiene que en los años 2009 y 2010 es el alto costo del alimento lo que incide en una menor eficiencia técnica. Si bien pudiera haber elementos técnicos y de manejo de alimentación relacionados con este valor, ello refleja, principalmente, afectaciones (mortalidades) por enfermedades, especialmente cuando estas se presentan en organismos que llevan varias semanas ya en cultivo y hubo alimento suministrado que no incidió en producto cosechado.

### **Eficiencia técnica ambientalmente ajustada**

El comportamiento de la eficiencia ambientalmente ajustada, nuevamente, muestra los impactos por las enfermedades virales presentes en 2009-2010, especialmente en el segundo año. Esta eficiencia sigue la misma tendencia de la eficiencia técnica, con valores mínimos en 2010 en 0.55, pero con recuperación significativa en 2011 (0.92). El comportamiento conjunto de ET y ETAA en estos cuatro años indica que los productores, si bien producen menos volumen en toneladas totales, lo hacen de una mejor manera en la capacidad de alcanzar ese producto con menor insumo.

Especialmente interesante es la comparación de valores entre la eficiencia ambientalmente ajustada y la eficiencia técnica en el año 2011, que valida el uso de indicadores que incorporen el efecto del impacto al medio ambiente: no alcanzar eficientemente el producto deseado tiene un valor menor que no alcanzarlo e impactar en menor nivel el medio ambiente. Esto quiere decir que en 2011, comparativamente con años previos, no solo los productores muestran capacidad de ajuste en el manejo del cultivo para alcanzar el producto buscado (camarón), sino que lo hacen con el menor impacto ambiental en esta serie de tiempo analizada, lo cual correctamente es captado por el indicador de EAA. Es decir, la eficiencia ambientalmente ajustada (promedio 0.92 en 2011) tiene un valor más alto que la eficiencia que no toma en cuenta los impactos al medio ambiente (0.84).

Tales resultados concuerdan con los obtenidos por Martínez-Cordero y Leung (2004 y 2006b) para la camaricultura en México. Y hablan, promisoriamente, de la capacidad de adaptación de los productores a las enfermedades y de que sus curvas de aprendizaje en la convivencia con este problema les permiten actualmente ajustar rápidamente ciclos de producción de tal manera que ante mortalidades por virus, el uso del insumo más caro (alimento) pueda ser más

controlado. Este tipo de resultados está presente en otras industrias como la del papel en Canadá, donde Hailu y Veeman (2000) encuentran que la productividad ajustada por impactos ambientales es más alta que la tradicional, dado que esta industria canadiense ha sido exitosa en reducir los promedios anuales de emisiones de contaminantes, y por ello el indicador premia la productividad por este hecho.

Expertos mundiales indican que las enfermedades son ya un limitante de la oferta de crustáceos de pesca y acuicultura (Stentiford *et al.*, 2012). Las enfermedades son ya elemento permanente de riesgo en el cultivo de camarón en México y la industria ha buscado operar controlando sus efectos. A las enfermedades virales hay que, actualmente, sumarle el síndrome de mortalidad temprana en camarón de origen bacteriano y que, en 2013, ha impactado fuertemente las granjas comerciales (Industria Acuícola, 2013). Por ello, la sustentabilidad del cultivo comercial de camarón depende de los ajustes que hagan los productores en sus esquemas de producción, en el manejo de sus cultivos, no solo para que alcancen el producto deseado (camarón) y permanezcan rentables, sino reduciendo el no deseado (N y P en los efluentes, entre otros), para lograr con ello una empresa e industria sostenible.

En el análisis de tendencias históricas del cultivo de camarón, es deseable encontrar, no solo que la producción actual se genera de una manera más eficiente, sino que los impactos de los subproductos en el medio ambiente también han sido disminuidos. El indicador de EAA ofrece la oportunidad de integrar ambas perspectivas de análisis en una sola medición. Sin embargo, muy poca teoría económica se aplica actualmente en el análisis a nivel empresa o industria. Los tomadores de decisión, sean dueños de granjas o funcionarios públicos interesados en consolidar esta actividad productiva en el país, sin duda apreciarán asistir sus procesos con más información.

Generar y analizar de manera constante indicadores económicos a nivel empresa o industria, como ET y EAA, es un reto por ser métodos intensivos en uso de datos. En primera instancia, para el cálculo de ET y EAA se requiere un desglose completo de cantidades físicas y/o monetarias –dependiendo del método de análisis– de insumos y productos en el proceso de producción. Estos datos, sin embargo, son usualmente recopilados en el presente en empresas acuícolas en formas contables de diversa complejidad. Es más complejo el obtener lecturas de descargas de los efluentes al medio ambiente, pues estas mediciones requieren diseñar un muestreo, sistematizar la colecta de muestras y su análisis, más el costo de los mismos. Pero siempre será importante para una empresa demostrar que sus actividades las realiza con menor impacto ambiental.

## Conclusiones

En la búsqueda del desarrollo sostenible de la industria acuícola en el país, el que las empresas sean económicamente rentables y de bajo impacto ambiental es un doble objetivo deseado. Por ello se propone a la eficiencia técnica y la eficiencia ambientalmente ajustada como indicadores robustos para esta doble medición, que aporten más y mejores elementos para la toma de decisión a nivel empresa e industria.

Los resultados de este estudio, relacionados con la presencia de enfermedades virales en el estado de Nayarit, confirman resultados previos en el sector camarónico y otras industrias en el mundo en relación al efecto negativo de las enfermedades en la eficiencia productiva, medida esta última como la óptima combinación de insumos para alcanzar cierto nivel de producto en la frontera productiva. Las enfermedades igualmente impactan la eficiencia ambientalmente ajustada. Ambas eficiencias se recuperan en periodos de uno a dos años a partir del impacto más fuerte de enfermedades como respuesta al manejo de la producción en granja.

La eficiencia ambientalmente ajustada llega a ser en 2011 más alta que la eficiencia técnica, indicando que los productores no solo pueden combinar de mejor manera sus insumos para alcanzar cierto nivel de producto deseado (camarón), sino que lo hacen de una manera más eficiente al reducir sus descargas de nitrógeno y fósforo al medio ambiente (producto no deseado). Considerando que nitrógeno y fósforo son introducidos al estanque de cultivo principalmente de manera exógena –mediante el alimento– esto habla de una mejor administración de la alimentación, lo cual incidirá en la propia rentabilidad del cultivo ya que el alimento representa entre el 45 y 55% de los costos de operación.

Es altamente recomendable incorporar indicadores como eficiencia técnica y eficiencia ambientalmente ajustada en la evaluación de las empresas camarónicas y de la industria agregada, así como generar una medición general en la industria que constituya la línea base y a partir de ello monitorear las variaciones anuales, correlacionadas con factores de producción, ambientales, enfermedades.

El que el camarón de cultivo provenga de un sistema productivo con menor impacto ambiental es deseable, y puede, inclusive, ser utilizado en una estrategia de diferenciación del producto, con enfoque de mercado. Es deseable que gobiernos y sector productivo generen el incentivo por producir con mayor eficiencia ambiental y el mercado (precio) puede ser la manera de hacerlo, contrariamente a medidas de comando y control.

Igualmente, se recomienda que los comités estatales de sanidad e inocuidad, que son finalmente la manera más eficiente de alcanzar al sector primario, se incorporen no solo en los esfuerzos de medición de estas variables económicas-ambientales, sino en su mismo análisis y conocimiento. Continuar y profundizar estudios iniciales como el presente, para analizar en detalle factores particulares por JLSA, por año, ciclo, que pudieron incidir en un cierto nivel de eficiencia. Todo este marco de análisis introducirlo en un esquema de riesgo que permita prevenir resultados y adelantar toma de decisión, considerando que la industria está constantemente bajo riesgo e incertidumbre por la presencia de enfermedades.

## Agradecimientos

El presente estudio formó parte del proyecto Fordecyt-Conacyt 143117 titulado “Bioseguridad y ecoeficiencia en el cultivo de camarón”, cuyo responsable es el Dr. Ricardo Pérez Enríquez, investigador del Cibnor, B. C. S. El autor principal de este artículo es co-responsable del componente económico en ese proyecto. Se agradece ampliamente al Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Nayarit, A. C. (Cesanay) y en particular a su gerente general, M. C. Verónica Aguilar Medina, por la gestión con los productores para facilitar la información primaria.

## Bibliografía

- Akinbode, S. O., Dipeolu, A. O. y D. A. Ibrahim (2011) “Effect of disease burden on technical efficiency among low income rice fanning households in North-Central Nigeria” *World Journal of Agricultural Sciences*. (7)3, pp. 359-367.
- Bimbao, G. B. *et al.* (2000) “Socioeconomics and production efficiency of tilapia hatchery operations in the Philippines” *Aquac. Econ. Manag.* 4(1/2), 47-61.
- Christensen, L. R., Jorgenson, D. W. y L. J. Lau (1973) “Transcendental logarithmic production frontiers” *Rev. Econ. Stat.* (55), 28-45.
- Coelli, T., Rao, P. y G. Battese (1998) *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 275 pp.
- Conapesca (2012) Anuario estadístico de pesca. México, 234 pp.
- Dey, M. M. *et al.* (2000) “Technical efficiency of tilapia growout pond operations in the Philippines” *Aquac. Econ. Manag.* 4(1/2), 33-45.
- Dey, M. M. *et al.* (2010) “The impact of integrated aquaculture-agriculture on small-scale farms in Southern Malawi” *Agricultural Economics*. (41)1, pp 67-79.
- Fare, R., Grosskopf, S. y C. A. Knox (1994) *Production Frontiers*. London, Cambridge, University Press, 295 pp.

- Fare, R. y D. Primont (1997) *Multi-output production and duality: Theory and applications*. Carbondale, Illinois, Kluwer Academic Publishers.
- Ferdous, A. (2011) "Measuring technical, allocative and cost efficiency of pangas (Pangasius hypophthalmus: Sauvage 1878) fish farmers of Bangladesh" *Aquaculture Research*. (42),10, pp. 1487-1500.
- Fried, H. O., Lovell, C. A. K. y S. S. Schmidt (1993) *The measurement of productive efficiency*. Reino Unido, Oxford University Press.
- Gunaratne, L. H. P. y P. S. Leung (2001a) "Asian black tiger shrimp industry: A productivity analysis" en P. S. Leung y K. R. Sharma (eds.), *Economics and management of shrimp and carp farming in Asia*. Bangkok, Thailand, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific.
- (2001b) "Productivity analysis of Asian shrimp industry: The case of Malaysian shrimp culture" en P. S. Leung y K. R. Sharma (eds.), *Economics and management of shrimp and carp farming in Asia*. Bangkok, Thailand, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific.
- Hailu, A. y T. S. Veeman (2000) "Environmentally sensitive productivity analysis of the Canadian pulp and paper industry, 1959-1994: An input distance function approach" *J. Environ. Econ. Manage.* (40), 251-274.
- Hassanpour, B. *et al.* (2010) "An analysis of productivity growth and factors influencing it in the Iranian rainbow trout aquaculture" *Australian Journal of Basic & Applied Sciences*. (4), 10, pp. 5428-5440.
- Iinuma, M., Sharma, K. R. y P. S. Leung (1999) "Technical efficiency of carp pond culture in Peninsula Malaysia: An application of Stochastic Production Frontier and Technical Inefficiency Model". *Aquaculture*. (175), 199-213.
- Industria Acuícola (2013) "Cae 70% producción de camarón por afectación sanitaria" *Boletín semanal de noticias*. 1-5 julio.
- Iraizoz, B., Bardaji, I. y M. Rapun (2005) "The Spanish beef sector in the 1990s: Impact of the BSE crisis on efficiency and profitability" *Applied Economics*. (37), pp. 473-484.
- Karagiannis, G., Katanidis, S. D. y V. Tzouvelekas (2000) "Measuring technical, allocative and cost efficiencies of seabass and seabream farms in Greece" *Aquac. Econ. Manag.* (4), 191-207.
- Kolawole, O. y O. O. Akinbogun (2010) "Modeling technical efficiency with production risk: A study of fish farms in Nigeria" *Marine Resource Economics*. (25), 3, pp 295-308.
- Martínez-Cordero, F. J., FitzGerald Jr., W. J. y P.S. Leung (1999) "Evaluation of productivity in extensive aquaculture practices using interspatial TFP Index, Sulawesi, Indonesia" *Asian Fish. Sci.* (1), 3, 19-30.
- Martínez-Cordero, F.J. y P. S. Leung (2004) "Sustainable aquaculture and producer performance: measurement of environmentally adjusted productivity and efficiency of a sample of shrimp farms in Mexico" *Aquaculture*. (241), pp. 249-268.

- (2006a) “Production performance economic indicators and their role in the planning and assessment of the sustainable development of aquaculture” en P. S. Leung y C. Engle (eds.), *Shrimp culture: Economics, market and trade*. Iowa, Blackwell Publishing, pp. 95-105.
- (2006b) “Production performance indicators with externalities: Environmentally-adjusted productivity and efficiency indicators of a sample of semi-intensive shrimp farms in Mexico” en K. J. Thomson y L. Venzi (eds), *Proceedings of the 95th European Association of Agricultural Economics EAAE*. Seminar, Civitavecchia (Roma), Italia, pp. 175-195.
- Páez-Osuna, F. *et al.* (1997) “Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in NorthWestern, Mexico” *Mar. Pollut. Bull.* (34), 5, 290-297.
- Pantziros, C. J., Karagiannis, G. y V. Tzouvelekas (2011) “Parametric decomposition of the input-oriented Malmquist productivity index: With an application to Greek aquaculture” *Journal of Productivity Analysis*. (36), 1, pp. 21-31.
- Sharma, K. R. y P. S. Leung (1998) “Technical efficiency of carp production in Nepal: An application of stochastic production function approach” *Aquac. Econ. Manag.* (2), 3, pp. 129-140.
- (2000a) “Technical efficiency of carp pond culture in South Asia: An application of a stochastic meta-production frontier model” *Aquac. Econ. Manag.* 4 (3, 4), pp. 169-191.
- (2000b) “Technical efficiency of carp production in India: a stochastic frontier production function analysis” *Aquac. Res.* (31), pp. 937-948.
- Singh, K. *et al.* (2009) “Technical efficiency of freshwater aquaculture and its determinants in Tripura, India” *Agricultural Economics Research Review*. (22), 2. pp. 185-195.
- Smale, M. *et al.* (2008) “Wheat breeding, productivity and slow variety change: Evidence from the Punjab of India after the Green Revolution” *Australian Journal of Agricultural & Resource Economics*. (52), 4, pp. 419-432.
- Stentiford, G. D. *et al.* (2012) “Disease will limit future food supply from the global crustacean fishery and aquaculture sectors” *Journal of invertebrate pathology*. (110), 2, pp. 141-157.
- Tsue, P. T., Lawal, W. L. y V. O. Ayuba (2012) “Profit efficiency among catfish farmers in Benue State, Nigeria” *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition & Development*. (12), 6, pp. 6759-6775.
- Tveteras, R. y A. Heshmati (1998) “Patterns of productivity growth and market conditions in the Norwegian salmon farming industry 1985-1993” en A. Eide y T. Vassdal (eds.), *Proceedings of the 9th International Conference of the IFFET*. Tromsø, Norway, pp. 896-906.
- Tveteras, R. y G. E. Battese (2000) “Technical change and productive inefficiency change in Norwegian Salmon Farming: The influence of regional agglomeration

- externalities. Paper presented at the "10th Biennial Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade. Oregon, julio 10-14.
- Uma, D. K. y P. Y. Eswara (2007) "Productivity analysis of coastal Andhra shrimp industry" *ICFAI Journal of Agricultural Economics*. (4), 4, pp. 20-29.
- Vassdal, T. y B. E. Roland (1998) "Technical change in the Norwegian salmon aquaculture sector: A Malmquist index approach" en A. Eide y T. Vassdal (eds.), *Proceedings of the 9th International Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*. Tromso, julio 8-11, pp. 404-415.