SISTEMA DE ALERTA PARA LA ACUICULTURA DEL CAMARÓN

Bonny Bayot[1], Xavier Ochoa[2], Zobeida Cisneros[4] Iván Apolo[3], Teresa Vera[3], Leo Van Biesen[4], Jorge Calderón[1], María del Pilar Cornejo-Grunauer[5]
[1]Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas - CENAIM
[2]Centro de Tecnologías de Información - Escuela Superior Politécnica del Litoral
[3]Centro de Estudios Medio Ambientales (CEMA) - Escuela Superior Politécnica del Litoral
[4]Vrije Universiteit Brussel - ELEC Department
[5]Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar - Escuela Superior Politécnica del Litoral

INTRODUCCIÓN

El Golfo de Guayaquil y su área de influencia es objeto de múltiple explotación de recursos naturales, existiendo planes de corto, mediano y largo plazo (dragado del Estero Salado, desarrollo agrícola, industrial y poblacional de la costa oeste del Estero Salado por el trasvase del río Daule y desarrollo de la actividad hidrocarburífera en el lecho marino del Golfo) capaces de producir impactos sobre el medio acuático natural. Las experiencias anteriores demuestran que los impactos por actividades antropogénicas han sido principalmente negativos. Consecuentemente, para contribuir a que el sector acuícola se desarrolle en forma sustentable, es importante contar con herramientas que permitan a la industria tomar decisiones de manejo. En tal sentido, en vista de la capacidad integradora de los SIG se ha considerado oportuno el desarrollo de uno de estos sistemas, específico para la acuicultura del camarón en Ecuador, que permita informar y alertar a los productores camaroneros sobre cambios en la salud del ambiente. Es importante destacar que, un SIG es una aplicación computarizada especializada que posibilita la creación, edición y manipulación de "Bases de Datos Geográficas" (BDGs) vinculadas a un conjunto de mapas o modelo cartográfico previamente definido, para obtener información gráfica, inherente a un área, requerida en el marco de los objetivos particulares del usuario. En tal sentido, el SIG de Alerta Epidemiológica y Manejo Acuícola permitirá realizar análisis de naturaleza variada tanto en tiempo como en espacio, en base a los datos almacenados, y visualizar el resultado de este análisis a través de un mapa digital regional y local , y/o en base a gráficos (p.e. intensidad de White Spot Syndrome Virus (WSSV) en función del tiempo), y/o reportes, según el planteamiento del usuario. El poder de análisis del sistema es alto mientras que los resultados dependen fundamentalmente de la riqueza de los datos ingresados en él.

MATERIALES Y MÉTODOS

Campañas de muestreo. Durante cinco campañas de muestreo realizadas entre abril del 2000 y junio del 2001 se colectaron muestras para análisis de histología (Tabla 1) totalizando un tamaño de muestra de 1.225 animales. Los muestreos se realizaron en las estaciones climáticas seca y lluviosa y en los periodos de transición climática entre ambas estaciones. Cada muestra de piscina para análisis de histopatología contuvo cinco animales (provenientes de piscinas señaladas con problemas y que mostraban señales de estar enfermos) fijados en el campo con solución Davidson AFA. Los tejidos de los camarones fueron procesados siguiendo los procedimientos de Bell and Lightner (1988). El análisis consideró el diagnóstico de lesiones causadas por WSSV, Infectious Hipodermal Hematopoyetic Necrosis Virus (IHHNV), Baculovirus penaei (BP), Taura Syndrome Virus (TSV), Vibriosis, Hepatopancreatic Parvo-like Virus (HPV), Necrotizing Hepatopancreatic (NHP), melanización en branquias y la presencia de bacterias, gregarinas y epibiontes (bacterias filamentosas, protozoarios y zoothamniun). Los órganos analizados fueron: glándula antenal, órgano linfoide, epitelio cuticular, tejido hematopoyético, hepatopáncreas, estómago, intestino, branquias, tejido conectivo, corazón, cordón nervioso, cutícula y apéndices.

Tabla 1. Camaroneras y piscinas muestreadas en el Golfo de Guayaquil. 2000-2001

Estación climática	Fecha	Camaroneras	Piscinas
Lluviosa	Abril 2000	14	27
Seca	Agosto-Septiembre 2000	24	47
Seca a lluviosa	Diciembre 2000	21	58
Lluviosa	Marzo 2001	22	64
Lluviosa a seca	Mayo-Junio 2001	21	61
	Total	102	257

Anomalías de temperatura del mar en la región Niño 1+2. La región Niño 1+2 es una región oceánica comprendida entre 0˚-10˚S, el continente sudamericano y 90˚W (frente a las costas de Ecuador y Perú), que muestra las variaciones estacionales y las manifestaciones locales de los eventos El Niño y La Niña. En este trabajo se utilizó la anomalía de la temperatura del mar en esa región como una variable indicativa de las condiciones climatológicas en la costa ecuatoriana. Tales anomalías fueron calculadas como la diferencia algebraica entre la temperatura del mar en cada uno de los meses en que se realizaron las campañas de muestreo y el promedio histórico mensual correspondiente. Las anomalías (el término puede ser interpretado como desviaciones del promedio) positivas y negativas son indicativas de condiciones cálidas y frías, respectivamente.

Sistemas de Información Geográfica. El SIG ha sido desarrollado en base a la información obtenida de los muestreos en el Golfo de Guayaquil (provincias de Guayas y

El Oro). Puesto que, en general, durante las campañas de muestreo se trató de colectar en forma sistemática muestras de las mismas camaroneras, el SIG contiene información de 30 camaroneras y 184 piscinas.

Base de Datos Geográfica (BDG). Es la fusión digital de cartografía "inteligente" con parámetros (información alfanumérica) que describen los objetos geográficos que se estén representando u otra información que pueda ser sintetizada a esos niveles. Esto presupone la necesidad de conceptualizar de forma precisa los objetivos del proyecto a fin de diseñar el modelo de mapas que sea capaz de, literalmente, mostrar los resultados obtenidos de una forma adecuada. Para esto se requiere que inicialmente se defina la "Unidad Mínima de Información Cartografiable" (UMI) que es el objeto geográfico de menor tamaño real que se desea representar. El nivel de detalle de la UMI controla en gran medida el costo final de la BDG. Para el caso del presente trabajo, la UMI es la piscina camaronera.

Posicionamiento. El posicionamiento de 95 piscinas de un total de 184 que forman parte del muestreo se efectuó utilizando técnicas de posicionamiento diferencial y equipos móviles de precisión final equivalente a 3 m. El sistema de coordenadas destino utilizado fue: Proyección: UTM. Zona 17 Sur. Elipsoide: Internacional. Datum: Provisional para América del Sur de 1956. Para el posicionamiento de las 89 piscinas restantes se utilizó la imagen satélite previamente georeferenciada al sistema de coordenadas del proyecto.

Cartografía. La fuente de la cartografía utilizada fueron mapas impresos del Instituto Geográfico Militar previamente digitalizados en el CEMA, imágenes satélite Landsat y posicionamiento con ¨Global Positioning System¨ (GPS) efectuada por CEMA.

Equipos y programas. El proyecto ha utilizado principalmente los siguientes programas: para la digitalización, MicroStation 95; para la geocodificación, LineaBase 1.0; para la cartografía automatizada MapInfo 5.0. Además de PCI Image Works (sensores remotos), PCI Ortoengine (ortorectificacion) y Pathfinder Office (corrección diferencial). Los equipos utilizados incluyen un GPS tipo Rover modelo GEOexplorer II y una Estación base para correción diferencial marca Trimble Beacon (Pathfinder Community Base Station) utilizado en el posicionamiento de las piscinas.

Uso de Geomedia y Web Map. Para que el sistema estuviera en la capacidad de mostrar mapas u otro tipo de información a través de Internet se requirió el uso de un software con el cual es posible importar los elementos constitutivos del sistema (SIG: cartografía digital, BDGs, graficadores, minería de datos) desde las varias plataformas que los contienen (p.e. Microstation, MapInfo, LineaBase, Microsoft Access) y que permite manipularse a través de "scripts" (pequeños programas) que pueden ser embebidos dentro de las páginas HTML. Se optó por usar los programas Geomedia y Web Map de Intergraph por el amplio rango de formatos de importación y facilidad de uso que brinda el primero y por la capacidad del segundo de poder generar mapas interactivos bajo demanda controlados a través de programación en ASP (lenguaje de scripts de la plataforma Windows) para ser incluidos dentro de la página Web a través de un control ActiveX (tecnología similar a Java). Adicionalmente, otros programas fueron utilizados (Access, Internet Information Server, Dreamweaver, entre otros) como apoyo a Geomedia y WebMap para llevar a cabo la tarea de poner la información espacial a disposición del usuario del Web. La aplicación de estas técnicas hizo posible mostrar, bajo demanda, en una página Web, cualquier sector del Golfo de Guayaquil en un alto nivel de detalle a través de mapas generados en base a las BDGs presentes en el SIG, facilitando la capacidad de análisis del usuario.

Elementos para el sistema de alerta. El Golfo de Guayaquil fue espacialmente dividido en grillas, que corresponden a áreas rectangulares de aproximadamente 13000 hectáreas y coincidentes con las cuadrículas cartográficas de la carta nacional del Instituto Geográfico Militar a escala 1:25000. Cada grilla fue codificada y enlazada con una tabla de datos históricos (datos desde 1990 hasta el 2000) de producción y manejo. A manera de ejemplo, en cuatro de estas grillas se elaboró un índice de producción y manejo (Sonnenholzner *en preparación*). Tal índice fue normalizado en base al promedio y desviación estándar para cada uno de los meses del año. Cada grilla fue analizada en forma independiente a las otras grillas. A futuro, el sistema trabajará con información suministrada por los productores.

Resultados

Campañas de muestreo. La fase inicial del proyecto contempló la ejecución de cinco campañas de monitoreo en camaroneras del Golfo de Guayaquil. Las campañas se realizaron en distintas estaciones climáticas para cubrir el vacío de una investigación sistemática sobre la incidencia temporal de WSSV. Las camaroneras muestreadas presentaron una buena cobertura espacial, y aunque con relativa baja densidad de puntos (piscinas con datos), sirvieron para armar la estructura del SIG Acuícola.

En base a análisis de histología, los patrones que se observaron en las campañas de muestreo fueron los siguientes: WSSV presentó incidencias más baja y alta en las estaciones climáticas lluviosa y seca, respectivamente (Figura 1). En las dos transiciones climáticas se presentó un cuadro contrastante: decrecimiento (transición de la época seca a lluviosa) y un incremento (transición de la época lluviosa a seca) de incidencia de WSSV. Al comparar los datos de las dos estaciones lluviosas se observa que las mayores incidencias de WSSV ocurrieron en el 2000. En forma opuesta a WSSV, IHHNV mostró una menor incidencia en la época seca. En general, gregarinas y epibiontes se observaron más frecuentemente en la estación lluviosa y en la transición de la estación lluviosa a seca del 2001. Por otro lado, se observaron mayores ocurrencias de vibriosis durante las transiciones climáticas, especialmente en la campaña realizada durante el paso de la estación lluviosa a seca. Reportes sobre vibriosis asocian los brotes a cambios ambientales que ocasionan un incremento de la densidad de una especie particular *Vibrio* spp., aumentando la exposición del camarón a estos patógenos (Brock y Main 1994).

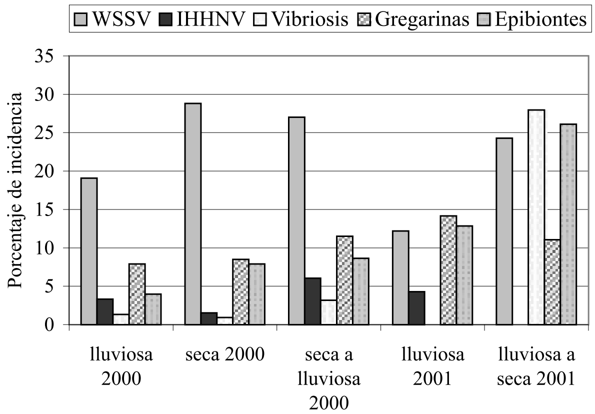

Figura 1. Incidencia de algunas patologías (por análisis de histología) durante las campañas de muestreo. Se destaca que WSSV presentó incidencias más baja y alta en las estaciones climáticas lluviosa y seca, respectivamente. Observándose que, en el período de transición monitoreado de la época seca a lluviosa se presentó un decrecimiento de incidencia de la enfermedad, mientras que un comportamiento contrario se observó en la transición de le época lluviosa a seca.

Se observó relaciones significativas entre la incidencia de WSSV y temperatura de las piscinas y entre patologías y épocas de cultivo (datos no mostrados). En este sentido, se utiliza la anomalía de la temperatura en la superficie del mar en la región Niño1+2, que es un índice que representa la variabilidad climática frente a las costas ecuatorianas y peruanas y se encontró una relación inversa entre ese índice y la incidencia de WSSV en las piscinas muestreadas (Tabla 2 y Figura 2). Por ejemplo, durante abril del 2000, a pesar de ser un mes climatológicamente cálido, el océano, y por consiguiente el clima costero ecuatoriano, presentó la segunda anomalía más fría (-0.86˚C) registrada en ese año. Por el contrario, durante la campaña de la estación lluviosa del 2001 (abril), el océano presentó la anomalía más cálida del período 1999-2001 (+1.28˚C). Coincidentemente, también se presentó la más baja incidencia de WSSV. Estos resultados sugieren que de presentarse condiciones anormalmente frías no necesariamente se obtendría menor incidencia de WSSV en la época cálida (lluviosa), aún siendo un mes climatológicamente cálido. Cabe anotar que previamente, Jiménez *et al.* (2000) encontraron una correlación negativa significativa entre prevalencia de Infectious Cuticular Epithelial Necrosis Virus (ICENV =TSV) y temperatura oceánica.

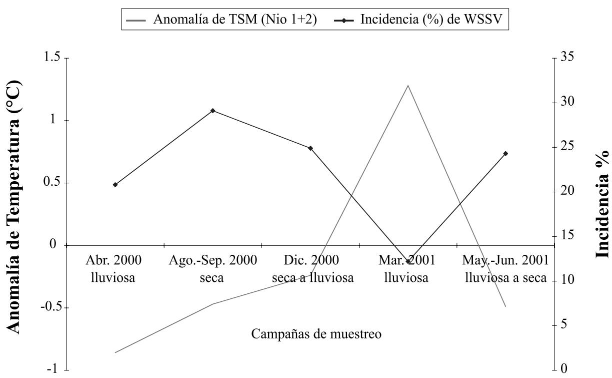

Figura 2. Incidencias de WSSV (por análisis de histología) y anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2 (región oceánica comprendida entre 0˚-10˚S, el continente sudamericano y 90˚W) para los meses en que se realizaron las campañas de muestreo. Nótese la relación inversa entre la anomalía de tempèratura y la incidencia de WSSV, particularmente la respuesta de la incidencia de WSSV que decreció en el mes de marzo del 2001, cuando las temperaturas se presentaron 1.28°C más cálido que lo normal. Mientras que con anomalías negativas se observa una mayor incidencia de la enfermedad

Tabla 2. Temperatura del agua y anomalías de temperatura en la región Niño 1+2 (región oceánica comprendida entre 0˚-10˚S, el continente sudamericano y 90˚W) durante las campañas de muestreo.

Estación climática	**Fecha del muestreo**	**Temperatura (°C)**	**Anomalía de temperatura promedio (°C)**
Lluviosa	Abril 2000	25.64	-0.86
Seca	Agosto-septiembre 2000	20.08-19.94	-0.47
Seca a lluviosa	Diciembre 2000	22.21	-0.24
Lluviosa	Marzo 2001	27.37	+1.28
Lluviosa a seca	Mayo-junio 2001	23.78-21.88	-0.49

Sistemas de Información Geográfica

Las campañas de muestreo se utilizaron para armar la estructura del SIG Acuícola, el mismo que consistió principalmente en la creación de una base de datos geográfica y de mapas temáticos. Las aplicaciones de cartografía desarrolladas en el proyecto provinieron principalmente de información satelital de diferentes fechas y resoluciones espaciales y espectrales. La figura 3 muestra una de las imágenes satelitales (Landsat 7) utilizadas en el proyecto, la resolución de 15 metros permite observar hasta un nivel de detalle de piscina.

Figura 3. Imágen obtenida con el satélite Landsat 7 para febrero del 2001, utilizada en la construcción del sistema de información geográfica (SG) del proyecto, cuya resolución espacial de 15 metros otorga a la herramienta una alta capacidad de análisis espacial que la hace muy versátil.

La construcción de mapas temáticos del SIG, posibilita la comparación entre épocas del año visualizada virtualmente sobre el terreno. Los mapas temáticos de las figuras 4 y 5 que son un ejemplo de productos del SIG han sido escogidos para ilustrar el impacto de WSSV en la estación lluviosa y lluviosa a seca del 2001. La secuencia de mapas temáticos permite concluir que la época lluviosa del 2001 reportó el menor impacto de WSSV.

Figura 4. Distribución geográfica de la infección de WSSV en la época lluviosa del 2001 en las piscinas muestreadas (por análisis de histología). Este mapa temático es un ejemplo de los productos del SIG, el mismo que ha sido escogido para ilustrar el impacto de WSSV en la estación lluviosa del 2001.

Figura 5. Distribución geográfica de la infección de WSSV en la época lluviosa a seca del 2001 en las piscinas muestreadas (por análisis de histología). La comparación con la figura previa permite concluir que la época lluviosa del 2001 reportó un menor impacto de WSSV.

Los resultados anteriormente mencionados indican que las condiciones ambientales y específicamente la temperatura son factores de riesgo importantes en los patrones de ocurrencia de las patologías de camarones cultivados y especialmente para los niveles de incidencia de WSSV, sugiriendo la importancia potencial de la temperatura oceánica y productos derivados en el pronóstico de condiciones favorables o desfavorables para la incidencia de WSSV. Aspecto que se revela importante al momento de trabajar en un escenario de alerta ante cambios en la salud del ambiente camaronero.

Sistema de alerta

Al momento, para un *primer criterio de alerta*, se está estudiando la aplicación de índices climáticos locales utilizando datos de la estación oceanográfica El Pelado (1°55´S-70°46´W) que mantiene el CENAIM desde 1992 (www.cenaim.espol.edu.ec/acuiclima). La idea central es de contar con un sistema de alerta climático, como un elemento para la decisión ante la ocurrencia de periodos fríos a nivel local (costas ecuatorianas).

Un segundo criterio de alerta consistirá en la vigilancia de los niveles de producción en el Golfo de Guayaquil, el mismo que se basa en el hecho de que, en caso de presentarse problemas por enfermedades, se produce un decrecimiento drástico de la producción. Es importante destacar que la producción es una de las variables más utilizadas en epidemiología como indicativo de enfermedades. En este sentido, se prevee que el sistema de alerta monitoree sistemáticamente en espacio y tiempo los niveles de producción en el Golfo de Guayaquil. Sin embargo, debido a que la producción en el Golfo de Guayaquil presenta variabilidades espaciales y temporales (Regueira *et al.* 2001), el sistema incluirá las siguientes consideraciones:

a) El sistema de alerta diferenciará la variabilidad espacial y reticulará el Golfo de Guayaquil en grillas de iguales dimensiones (Figura 6). Para conseguir este objetivo, el SIG esta empezando a trabajar con valores obtenidos de un índice de manejo y producción (Sonnenholzner, *en preparación*) con el que se estandariza los parámetros de manejo y producción (densidad de siembra inicial, producción final, duración del ciclo y peso promedio de cosecha).

Figura 6. Esquema de grillas utilizadas en el sistema de alerta del SIG acuícola. Para ilustrar la capacidad del sistema, la figura destaca como un ejemplo, cuatro grillas que contienen información de producción y manejo.

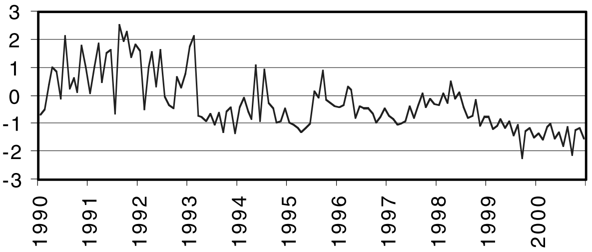

Figura 7. Indice de producción y manejo para una de las grillas de la figura previa, cuyo seguimiento sistemático permitirá activar el sistema de alerta de problema potencial, expresado como valores de una desviación estándar menor a lo normal y definido en base a datos históricos para cada grilla y para cada mes del año.

b) Para considerar la variabilidad temporal de la producción, valores normales para cada grilla y para cada mes del año serán calculados. Estos valores serán permanentemente retroalimentados con una mayor participación de camaroneras, generándose valores cada vez más confiables (Figura 7).

El sistema de alerta, en base al seguimiento sistemático de este índice, alertará automáticamente en un primer nivel de alerta *naranja*, mediante un sistema de alarmas basado en el descenso a valores anormalmente bajos, definidos en base a datos históricos para cada grilla y para cada mes del año, como se ilustra en la Figura 7, donde además se observa el límite (-1 desviación estándar) inicialmente propuesto para la activación automática de la alerta naranja, denominado *alerta de problema potencial*. Esta alerta iniciará una campaña de muestreo que permita identificar el problema en la grilla(s) donde se active(n) la alerta naranja (Figura 8). Si efectivamente se verifica la existencia de un problema (chequeo con análisis patológico de muestras), un segundo nivel de alerta se activará inmediatamente, consistente en una alerta *roja*, denominada *alerta de problema real*, en la grilla(s) afectada(s).

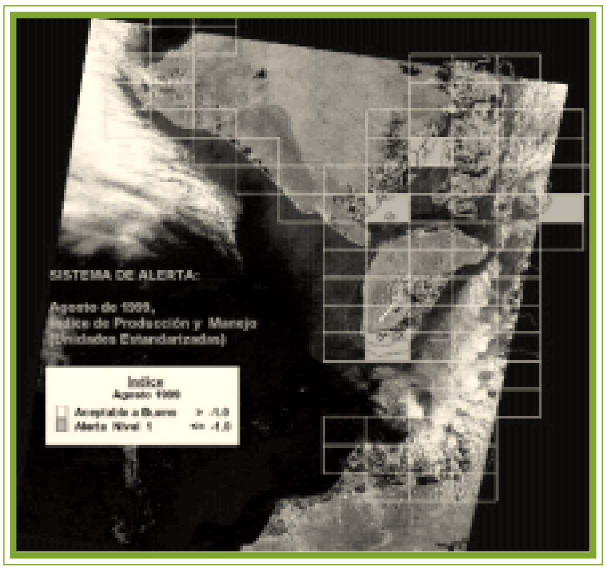

Figura 8. Sistema de alerta activado con la alerta naranja, en las cuatro grillas del ejemplo. Esta fase automática de la alerta es denominada *alerta de problema potencial* y da paso al inicio de una campaña de muestreo que permite identificar el problema en la grilla(s) donde se activó la alerta naranja.

Conclusiones

El prototipo desarrollado hasta el momento se encuentra en la fase avanzada de diseño y se completará con las sugerencias de los usuarios del sistema. Al momento el SIG histórico opera con datos de enfermedades y de producción que tienen una cobertura limitada a los años previamente mencionados (184 piscinas en el Golfo de Guayaquil). El prototipo desarrollado contiene versatilidad de operación, cuya cartografía digital es igualmente rica, tiene un potencial de análisis validado con los datos mencionados, y permitiría ejercitar la "minería de datos" (cuando el sistema adquiera datos sistemáticamente) para explotar el "conocimiento" implícito en los datos y en sus asociaciones, traducido a patrones que de manera cuantitativa expliquen la ocurrencia de un parámetro de interés. Adicionalmente, se está proponiendo una alternativa sencilla de vigilancia de problemas, que incluirá sistemas vinculados a niveles de alerta climática (énfasis en períodos fríos) y de decrecimiento drástico de la producción. El sitio web interactivo posibilitará el acceso a la información por parte de los usuarios (productores). La operacionalidad efectiva de este SIG se garantizará únicamente una vez establecida una "línea de vida" con el aporte de datos de los usuarios en una manera sistemática, incluyendo datos históricos, para lo cual, la cooperación entre todos los grupos involucrados (productores, académico y científico) permitirá obtener una herramienta útil para el sector. A futuro, el SIG puede constituirse en una herramienta con múltiples aplicaciones para el sector acuícola ecuatoriano.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a las camaroneras participantes en los distintos muestreos y a todos los productores camaroneros que aportaron con sus observaciones y comentarios para la construcción de los elementos mencionados en este artículo. Este trabajo fue realizado en el marco de la componente 4 (Environmental Management Systems in Agriculture and Aquaculture) del proyecto auspiciado por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y la Flemish Interuniversity Council (VL.I.R.). Los autores expresan sus agradecimientos por los fondos y asistencia proporcionados por el mencionado proyecto. De igual manera, los autores dejan constancia de sus agradecimentos a Stanislaus Sonnenholzner por el uso del índice de producción y manejo utilizado en el sistema de alerta.

Bibliografía

Bell, T.A., Lightner D.V. 1988. A handbook of normal penaeid shrimp histology. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.

Brock, J.A., Main, K.L. 1994. A guide to the common problems and diseases of cultured Penaeus vannamei. The Oceanic Institute.

Jiménez, R., Barniol, R., de Barniol, L., Machuca, M. 2000. Periodic ocurrence of epithelial viral necrosis outbreaks in *Penaeus vannamei* in Ecuador. Diseases of Aquatic Organisms. Vol. 42. 91-99. 2000.

Regueira, E., Calderón, J., y Bayot, B. 2001. Patrones espaciales y temporales en la producción camaronera ecuatoriana. 2001. Proceedings VI Congreso Ecuatoriano de Acuicultura. 24-27 de octubre del 2001. Guayaquil-Ecuador.