

**ANÁLISIS DE RUTA EN LA PESQUERÍA DE SARDINA
(*SARDINELLA AURITA*) DEL ORIENTE DE VENEZUELA**

NORA ESLAVA, LEO W. GONZÁLEZ Y LOURDES SUÁREZ-VILLASMIL¹

*Área de Biología y Recursos Pesqueros,
Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente,
Boca del Río, Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela
neslava20@yahoo.es*

¹*Laboratorio de Ecología de Plantas Acuáticas,
Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias,
Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela
lourdes.suarez@ciens.ucv.ve*

Resumen. Se exploró un modelo para evaluar el nivel de predicción de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la sardina (*Sardinella aurita*), a partir del esfuerzo de pesca y factores meteorológicos en el oriente de Venezuela. Las variables que influyeron significativamente sobre la CPUE fueron la temperatura y el esfuerzo de pesca, encontrando que esta última estuvo además significativamente influenciada por la velocidad del viento. El modelo representado por un análisis de rutas, explicó cerca del 39% de la variación presente en el sistema, mostrando con ello un nivel bajo de predicción de la CPUE con estas variables. *Recibido: 13 abril 2009, aceptado: 03 julio 2009.*

Palabras clave. Análisis de ruta, pesquería, *Sardinella aurita*, Venezuela.

PATH ANALYSIS MODEL OF SARDINE FISHERIES
(*SARDINELLA AURITA*) IN EASTERN VENEZUELA

Abstract. We explored a path analysis model to evaluate level of predictability of catch per unit of effort (CPUE) of sardines (*Sardinella aurita*), using fishing effort and environmental factors, in eastern Venezuela. The CPUE was significantly influenced by temperature and fishing effort, and, in turn, fishing effort was significantly influenced by wind speed. Because the path analysis model explained only 39% of the variation present in the system, the level of CPUE predictability was low with these variables. *Received: 13 April 2009, accepted: 03 July 2009.*

Key words. Path analysis, fisheries, *Sardinella aurita*, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El análisis de ruta fue utilizado inicialmente en las ciencias sociales, pero actualmente se usa con frecuencia en las ciencias naturales. El análisis de ruta se realizaba comúnmente considerando un modelo *a priori* sobre el sistema que se pretendía estudiar, pero debido al desarrollo de las computadoras, considerar un modelo *a priori* ya no es imprescindible, pero si recomendable (Ortiz-Pulido 2000). El no necesitar un modelo *a priori* es de gran ayuda, porque los investigadores de sistemas biológicos frecuentemente enfrentan situaciones en las cuales ni la teoría, ni la biología básica están desarrolladas lo suficiente como para permitir definir claramente las relaciones causales entre cada uno de los pares de variables en consideración (Shiple 1997). Las bases de la técnica de análisis de ruta están dentro de las desarrolladas para los métodos de modelación estructural de ecuaciones. Al contrario de la regresión múltiple, el análisis de ruta permite la partición de las correlaciones causales y no causales de cualquier par de variables (Parra 1995).

En este trabajo se aplica la técnica de análisis de ruta en la pesquería de sardina (*Sardinella aurita*) del oriente de Venezuela. Esta especie habita en zonas cercanas a la costa, donde la productividad biológica es generalmente alta debido a eventos de surgencia. Las capturas ocurren principalmente en el primer semestre del año, asociadas a la alta estacionalidad en la abundancia y disponibilidad del recurso. Como todos los recursos pelágicos costeros, la sardina presenta fluctuaciones estacionales en su biomasa por efectos de las condiciones biológicas y ambientales estrechamente relacionada con los reclutamientos, y la actividad pesquera artesanal (González 2006).

La reciente situación de bajos niveles de biomasa (González 2006) y desembarques de sardina (36.157 toneladas en el año 2008) según las estadísticas oficiales del Instituto Socialista de Pesca y Acuicultura (INSOPESCA), podría conducir a una frágil condición del stock por sobrepesca, por las tendencias crecientes del esfuerzo que no logra ser compensado por la productividad del stock. En este sentido, se amerita el manejo de información periódica sobre los parámetros biológicos indispensables en la evaluación de las poblaciones, así como de las variables de desempeño de la pesquería para administrar adecuadamente el recurso. A fin de contribuir con el conocimiento del comportamiento ecosistémico de la sardina, se evaluó la hipótesis que plantea la posible existencia de una relación entre la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) con respecto al esfuerzo de pesca y algunas variables ambientales, a través de los siguientes objetivos: 1) Identificar las variables explicativas que puedan influir en la CPUE, para crear un modelo donde se seleccionen las variables predictoras que contribuyan

significativamente con la determinación de la variable dependiente, descartando aquellas que no aporten información, 2) Determinar el nivel de asociación entre las variables independientes (esfuerzo de pesca, velocidad del viento, precipitación y temperatura del aire) que afectan a la intensidad de pesca (CPUE) aplicada a la sardina en el oriente de Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en una zona que cubre aproximadamente 240 millas en el eje este-oeste, alcanzando 60 millas en el eje norte-sur en su parte más ancha de la plataforma continental del nororiente de Venezuela, la cual está orientada en sentido este-oeste a lo largo del margen suroriental del Mar Caribe (Fig. 1). En esta área faenan aproximadamente 200 chinchorros sardineros y por su productividad pesquera es considerada la más importante del país (González 2006).

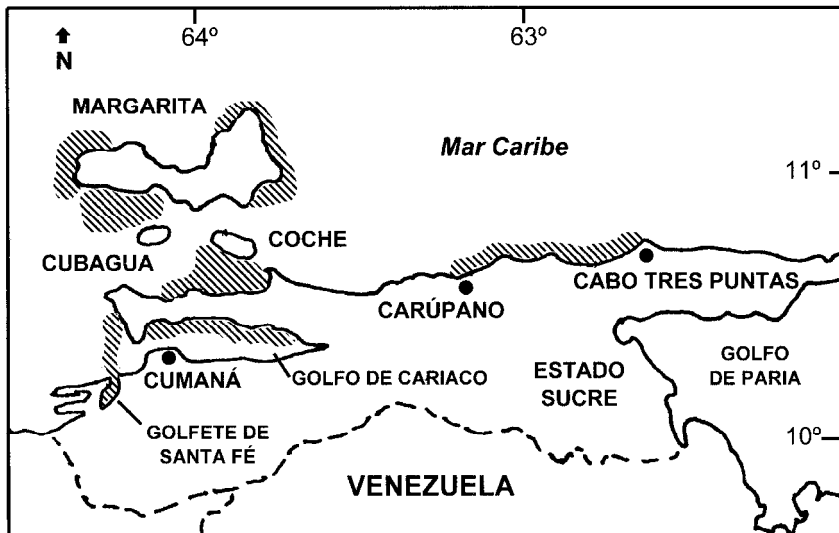


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el oriente de Venezuela, margen suroriental del Mar Caribe. Las áreas sombreadas muestran la distribución del stock de la fracción explotada de sardina (*Sardinella aurita*).

La unidad de esfuerzo está constituida por un chinchorro sardinero, generalmente, de 25 piezas que se unen conformando lo que se denomina “tren sardinero”, y es operado por 10 a 36 pescadores que usan de 5 a 16 embarcaciones, de las cuales, 2 son lanchas con motor central o 2 “peñeros” (barcos con motor fuera de borda) con motor de 75 Hp que remolcan la red, de

3 a 15 “peñeros” y una “piragua” (barco sin motor) que transporta la red (González *et al.* 2006).

BASE DE DATOS

La CPUE se usó como índice de abundancia relativa y fue expresada en toneladas por lance (t/lance) durante el período 1978–1998. Los valores anuales de la CPUE y del esfuerzo de pesca (lances) de la flota artesanal sardinera del oriente de Venezuela, fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Es importante acotar que para este periodo solo fue reportada las capturas de sardina con chinchorros y no con red de argolla. La serie histórica de datos anuales de la velocidad del viento (ms^{-1}), precipitación (mm) y temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) fue suministrada por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea de Venezuela, Estación de Porlamar y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Armada de Venezuela, Estación de Carúpano (Tabla 1).

ANÁLISIS DE DATOS

Previo al análisis estadístico, se promediaron las variables meteorológicas, por tratarse de datos provenientes de dos estaciones con cobertura en el oriente del país, que luego se usaron como variables regresoras.

Los valores anuales de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la sardina se relacionaron con el esfuerzo de pesca (E), la velocidad del viento (VV), la precipitación (P) y la temperatura del aire (Temp Aire), mediante el modelo de regresión múltiple (Zar 1996) empleando el método por pasos sucesivos (*stepwise*) para la selección e incorporación de las variables causales al modelo de regresión (SPSS 2001). Los supuestos de normalidad, homocedasticidad y linealidad fueron evaluados a través de un análisis de los residuos (datos no mostrados). \Rightarrow

Tabla 1. Valores anuales de parámetros pesqueros de la flota sardinera y variables meteorológicas del oriente de Venezuela, periodo 1978-1998.

Año	Captura (t)	Esfuerzo (lances)	CPUE (t/lance)	VV (ms ⁻¹)	P (mm)	Temp Aire (°C)
1978	26.390	545	48,42	6,7	411	26
1979	29.858	780	38,28	5,5	533	27
1980	37.203	1.195	31,13	5,4	559	26
1981	16.307	645	25,28	4,5	773	27
1982	33.462	1.107	30,23	5,8	490	27
1983	26.497	986	26,87	6,9	509	27
1984	32.506	1.124	28,92	7,7	802	27
1985	41.077	1.360	30,20	7,4	719	27
1986	53.603	1.663	32,23	7,5	600	27
1987	52.173	2.088	24,99	7,5	455	28
1988	80.079	2.490	32,16	7,1	786	27
1989	53.778	1.981	27,15	7,2	524	27
1990	47.721	1.450	32,91	7,1	773	27
1991	63.000	1.761	35,78	7,1	620	27
1992	79.453	2.201	36,10	7,2	627	27
1993	90.547	2.429	37,28	7,1	533	27
1994	100.477	2.563	39,20	7,0	462	27
1995	95.097	2.177	43,68	7,1	537	27
1996	139.352	3.458	40,30	7,1	555	27
1997	131.871	3.225	40,89	7,1	479	27
1998	105.768	2.936	36,02	7,1	662	28

CPUE = Captura por Unidad de Esfuerzo, VV = Velocidad del Viento, P = Precipitación, Temp Aire = Temperatura del Aire, t = Toneladas.

RESULTADOS

La relación de la CPUE y el esfuerzo de pesca determinó una regresión lineal con pendiente ($b = 0,004$) y correlación de Pearson ($r = 0,6$) positiva (Fig. 2). En consecuencia, es posible indicar que la explotación efectuada sobre esta especie produce respuestas poblacionales diferentes.

El modelo de regresión múltiple sin intercepto obtenido fue:

$$CPUE = -0,609 * Temp Aire + 0,380 * E$$

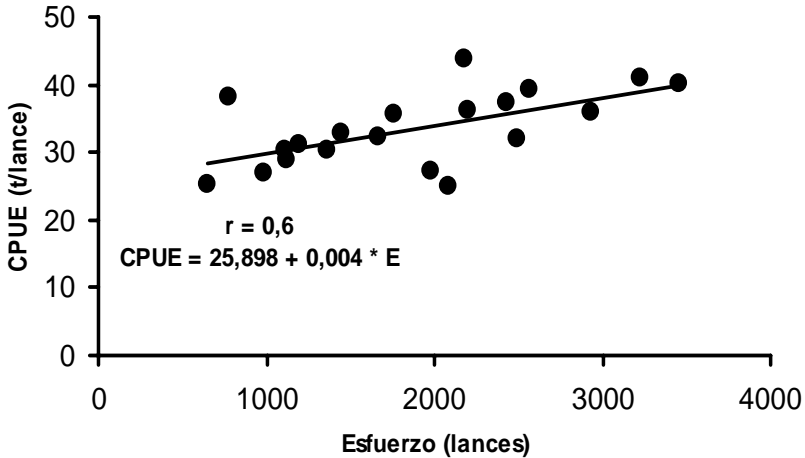


Figura 2. Relación de la CPUE y el esfuerzo de pesca (E) de la sardina (*Sardinella aurita*) en el oriente de Venezuela durante el período 1979-1998.

De acuerdo con estos resultados, las variables con coeficientes de regresión significativos sobre la CPUE fueron la temperatura del aire ($P < 0,05$) y el esfuerzo de pesca ($P < 0,05$). Al incorporar estas dos variables al modelo, se obtuvo un coeficiente de determinación ajustado, $R^2_{adj} = 0,392$ que indicó que las variables referidas explicaron aproximadamente 39,2% de la conducta de la variable respuesta. El análisis de varianza mostró que hubo un efecto significativo de las variables causales seleccionadas sobre la CPUE ($F = 7,437$; $P < 0,05$).

Los coeficientes de correlación de Pearson (r) estimados entre las variables independientes (Tabla 2) fueron en general bajos y no significativos, con excepción del que se encontró entre la velocidad del viento y el esfuerzo ($r = 0,521$, $P < 0,01$). Lo anterior motivó la realización de un segundo análisis de regresión (por pasos) considerando el esfuerzo de pesca (E) como variable dependiente y utilizando como variables independientes a la velocidad del viento (VV) y la precipitación (P). Este análisis mostró que la única variable con efecto significativo sobre el esfuerzo de pesca fue la velocidad del viento (VV) ($P < 0,01$).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson (*r*) entre las variables incorporadas al análisis. Las correlaciones marcadas son significativas con *P* < 0,05 (*) y con *P* < 0,01 (**).

	CPUE	VV	P	Temp Aire	E
CPUE	1,000				
VV	0,146	1,000			
P	-0,397*	-0,026	1,000		
Temp Aire	-0,557**	0,202	0,215	1,000	
E	0,298	0,521**	-0,114	0,136	1,000

CPUE = Captura por Unidad de Esfuerzo, VV = Velocidad del Viento, P = Precipitación, Temp Aire = Temperatura del Aire, E = Esfuerzo.

Los resultados de estos dos análisis se resumen en el diagrama de rutas mostrado en la Fig. 3, donde se observa, la correlación entre las variables causales incorporadas al modelo (Tabla 2); el efecto de cada variable causal sobre las variables dependientes consideradas representado por sus coeficientes de regresión estandarizados (β^*); y la fracción de información no explicada por los modelos de regresión, calculada como $U = (1 - R^2)^{1/2}$ donde R^2 es la variabilidad explicada del sistema cuando se consideran como causas las variables conocidas (Ortiz-Pulido 2000). En la construcción de este diagrama se utilizaron los coeficientes de regresión parcial estandarizados debido a que no están afectados por las escalas en que se miden las variables del modelo (Zar 1996).

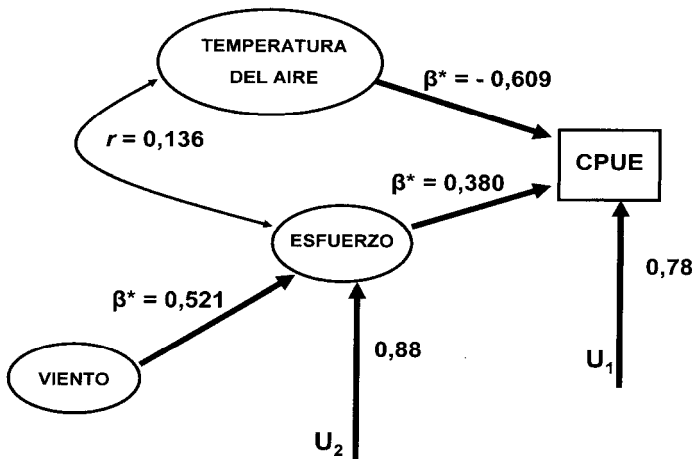


Figura 3. Diagrama de rutas para establecer la determinación sobre la CPUE y el esfuerzo de pesca de la sardina (*Sardinella aurita*) por algunas variables meteorológicas en el oriente de Venezuela.

Este diagrama puso de manifiesto que la temperatura del aire (factor causal negativo alto) y el esfuerzo de pesca (factor causal positivo bajo) fueron los que determinaron la variación de la CPUE en la pesquería de la sardina; mientras que la única causa indirecta, relativamente alta, fue la velocidad del viento. La flecha curva (doble punta) entre la temperatura y el esfuerzo de pesca, indica su grado de correlación; el cual resultó muy bajo como era deseable para evitar información redundante entre las variables incorporadas a un modelo de regresión. Los altos valores de los coeficientes U_1 y U_2 , reflejaron una alta variabilidad en la predicción de la CPUE y el esfuerzo de pesca (E). Esta incertidumbre puede ser atribuida a variables no consideradas en el análisis, como por ejemplo, al elevado nivel de azar en el ecosistema costero, o debido a un ajuste deficiente al modelo lineal. Se consideraron dos coeficientes de indeterminación (U_1 y U_2), porque el análisis de ruta integró información proveniente de dos procedimientos de regresión sobre dos variables dependientes distintas.

DISCUSIÓN

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) podría ser vista como un índice de la abundancia relativa de la fracción explotable de la población de sardina. No obstante lo anterior, el presente trabajo no buscó establecer factores asociados a las fluctuaciones de larga escala de la población. Sin embargo, la relación entre la CPUE y el esfuerzo de pesca observado en el período de estudio, no responde a la proporción inversa entre estos parámetros pesqueros, como lo señala Gulland (1971), por lo que se presume que esta condición estaría influenciada por la alta vulnerabilidad de los cardúmenes a la modalidad de pesca artesanal con chinchorro (cercano a la costa), además de su asociación a una variedad de mecanismos de control biológico, como la intensidad de la surgencia (Bakun 2001), la temperatura superficial del mar y los eventos El Niño (Yáñez *et al.* 1995), cambios en la abundancia y composición de las comunidades zooplanctónicas (Verheye *et al.* 1998, Verheye y Richardson 1998), incluso es posible que la dinámica de los cardúmenes ejerza un rol fundamental en la predominancia alternada de sardina y otros clupeidos (Cury *et al.* 2000).

Los resultados obtenidos sugieren que la variación en la CPUE, responde por un lado, a la variabilidad ambiental representada por la temperatura del aire y al pescador (esfuerzo de pesca); cuyo patrón de captura está determinado por la velocidad de los vientos, indicadores de la surgencia costera, la que a su vez determina la abundancia de sardina. Herrera y Febres (1995), establecieron que la surgencia costera del oriente de Venezuela es el resultado de la entrada de

nutrientes, debido a un posible efecto potencial de la velocidad del viento que caracteriza al ecosistema costero de esta zona del Caribe, siendo la temperatura un indicador indirecto del mismo. Resultados similares encontraron González *et al.* (2007), para la sardina del sureste de Margarita, señalando que la captura de esta especie está asociada con la intensidad de vientos y la temperatura del aire. Asimismo, Cárdenas y Archury (2000), hicieron notar que la presencia de altas densidades de sardina, en determinado lugar, es consecuencia de múltiples variables ambientales, bió-ticas y abióticas que actúan simultáneamente para conformar un espacio propicio. Investigaciones de sardina y anchoveta en la zona centro-sur de Chile han mostrado asociaciones entre la variabilidad del reclutamiento y factores medio ambientales (anomalías de TSM, índices de surgencia), y sugieren que condiciones cálidas del mar (eventos El Niño) podrían afectar la disponibilidad de alimento (Gatica *et al.* 2007).

El esfuerzo de pesca explicó sólo una causa de la variabilidad de la CPUE. A menudo la variación residual es originada por fenómenos ambientales, que afectan la abundancia y/o capturabilidad del stock, fracción de la población sujeta a la pesca, de un año a otro (Frèon y Yáñez 1995). Del mismo modo, Hinton y Nakano (1996) anotaron que la CPUE está influenciada por diversos factores, que incluyen variaciones espaciales y temporales de la biomasa, cambios en la eficiencia de las embarcaciones, así como también por factores ambientales, cuyas diferencias en las características interanuales pueden traducirse en fluctuaciones mucho mayores de la reproducción asociadas a las variaciones en la densidad del stock.

Por otro lado, De Anda *et al.* (1994) indicaron que las especies formadoras de cardúmenes, como la sardina, presentan una variabilidad natural en el reclutamiento que es fuertemente dependiente de las condiciones ambientales, lo que origina incertidumbre en sus niveles de abundancia. Al no considerarse todas las variables regresoras en el modelo propuesto, se podría suponer que estas podrían ser las razones del elevado valor en los coeficientes de indeterminación (U). La falta aparente de correlación puede en verdad ser debido a la incapacidad de los modelos para explicar adecuadamente el fenómeno natural de la población. Sin embargo, es claro que la influencia de los factores ambientales es también un factor dominante de variación (Csirke 1995). Es posible que, en el caso analizado, la escala temporal anual sea corta para discutir con propiedad la asociación de los parámetros pesqueros y las variables meteorológicas a través del método de análisis de ruta.

CONCLUSIONES

Las variables que influyeron significativamente sobre la CPUE de la sardina (*Sardinella aurita*) fueron la temperatura y el esfuerzo de pesca, encontrando que esta última estuvo además significativamente determinada por la velocidad del viento.

El modelo propuesto, representado por el análisis de ruta, explicó cerca del 39% de la variación presente en el sistema, mostrando alta incertidumbre para la predicción de la CPUE con estas variables asociadas a través de un modelo lineal.

AGRADECIMIENTOS

A Miguel A. Cabrera del CINVESTAV, Unidad Mérida, México por la revisión y sugerencias al manuscrito. Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Sucre) por los datos pesqueros. Al Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea de Venezuela, Estación de Porlamar y a la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Armada de Venezuela, Estación de Carúpano por los datos meteorológicos suministrados. A los árbitros por sus comentarios y sugerencias al manuscrito.

LITERATURA CITADA

- BAKUN, A. 2001. 'School-mix feedback': a different way to think about low frequency variability in large mobile fish populations. *Progress in Oceanography* 49: 485–511.
- CÁRDENAS, J. Y A. ARCHURY. 2000. Acústica pesquera de los recursos Marinos del nororiente de Venezuela: evaluación y seguimiento espacio-temporal del stock de sardina (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847). *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, No. 154: 39–54.
- CSIRKE, J. 1995. Fluctuations in abundance of small and mid-size pelagics. *Sci. Mar.* 59(3–4): 481–490.
- CURY, P., A. BAKUN, R. CRAWFORD, A. JARRE, R. QUIÑONES, L. SHANNON Y H. VERHEYE. 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "wasp-waist" ecosystems. *ICES J. Marine Science* 57: 603–618.
- DE ANDA, M. J. A., J. C. SEJO Y S. MARTÍNEZ. 1994. Reclutamiento y variabilidad ambiental en la pesquería de sardina Monterrey (*Sardinops sagax*) del Golfo de California, México. *Investigaciones Pesqueras* 38: 23–36.
- FRÈON, P. Y E. YÁNEZ. 1995. Influencia del medio ambiente en evaluación de stock: una aproximación con modelos globales de producción. *Investigaciones Marinas* 23: 25–47.

- GATICA, C., M. ARTEAGA, J. GIACAMAN Y P. RUIZ. 2007. Tendencias en la biomasa de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona centro-sur de Chile, entre 1991 y 2005. *Invest. Marinas* 35(1): 13–24.
- GONZÁLEZ, L. W. 2006. Análisis de la pesquería artesanal de la sardina (*Sardinella aurita*) del Estado Nueva Esparta, Venezuela: Un enfoque bioeconómico precautorio. Tesis Doctoral, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Mérida, México, 171 pp.
- GONZÁLEZ, L. W., N. ESLAVA Y F. GUEVARA. 2006. Catálogo de la pesca artesanal del estado Nueva Esparta, Venezuela. Dirección de Publicaciones Rectorado, Universidad de Oriente. Editoriales Radoca, C. A., Cumaná, 222 pp.
- GONZÁLEZ, L. W., J. EUÁN, N. ESLAVA Y J. SUNIAGA. 2007. La pesca de sardina, *Sardinella aurita* (Teleostei: Clupeidae) asociada con la variabilidad ambiental del ecosistema de surgencia costera de Nueva Esparta, Venezuela. *Revista Biología Tropical* 55(1): 279–286.
- GULLAND, J. A. 1971. Fish resources of the ocean. Fishing News Books, London, England, 255 pp.
- HERRERA, L. Y G. FEBRES. 1995. Procesos de surgencia y renovación de aguas en la fosa de Cariaco, Mar Caribe. *Bol. Instituto Oceanográfico Venezuela* 14: 31–44.
- HINTON, M. Y H. NAKANO. 1996. Standardizing catch and effort statistics using physiological, ecological, or behavioral constraints and environmental data, with an application to blue marlin (*Makaira nigricans*) catch and effort data from Japanese longline fisheries in the Pacific. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bull.* 21: 171–197.
- ORTIZ-PULIDO, R. 2000. Análisis de rutas en biología: Estadística para sistemas multicasuales. *Interciencia* 25(7): 329–336.
- PARRA, V. 1995. Factores ecológicos limitantes de la fecundación y selección natural en características florales de *Ipomea wolcottiana* Rose (Colvolvulaceae). Tesis Doctoral, Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 114 pp.
- SHIPLEY, B. 1997. Exploratory path analysis with applications in ecology and evolution. *American Naturalist* 149: 1113–1138.
- SPSS INC. 2001. SPSS for Windows. (Data analysis software system), version 11.01. www.spss.com.
- VERHEYE, H. Y A. RICHARDSON. 1998. Long-term increase in crustacean zooplankton abundance in southern Benguela upwelling region (1951–1996): bottom-up or top-down control? *ICES J. Marine Science* 55: 803–807.
- VERHEYE, H., A. RICHARDSON, L. HUTCHINGS, G. MARSKA Y D. GIANAKOURAS. 1998. Long-term trends in the abundance and community structure of coastal zooplankton in the southern Benguela system, 1951–1996. *South African J. Marine Science* 19: 317–332.
- YÁÑEZ, E., A. GONZÁLEZ Y M. A. BARBIERI. 1995. Estructura térmica del mar, asociado a la distribución espacio-temporal de sardina y anchoveta en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. *Investigaciones Marinas* 23: 123–147.
- ZAR, J. 1996. *Biostatistical Analysis* (3 ed.). Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, 1121 pp.