

Modelo de producción para el cultivo semi-intensivo de camarón *Litopenaeus vannamei* con el esquema de una precosecha

González-Romero, Miguel A^a., Zavala-Leal, Iram^{a,b}, Ruiz-Velazco Javier.M.J^{a,b*}., Nieto-Navarro José T.^{a,b}, Domínguez-Ojeda Delia^{a,b}

^aPrograma de Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias (CBAP), Universidad Autónoma de Nayarit, Cd. de La Cultura Amado Nervo s/n Tepic, Nayarit 63255, Mexico.

^bEscuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, Bahía de Matanchen, Km 12, Carretera a los Cocos, San Blas, Nayarit 63740, Mexico.

*Autor de correspondencia: Javier M. J. Ruiz-Velazco. Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, Bahía de Matanchen, Km 12, Carretera a los Cocos, San Blas, Nayarit 63740, Mexico. E-mail address: marcialj@uan.edu.mx

Recibido: 15 de enero de 2017

Aceptado: 20 de mayo de 2017

RESUMEN

El cultivo de camarón es una de las actividades más importantes en la acuicultura de México y Nayarit. No obstante, los productores enfrentan problemas en las formas de operar y de analizar sus datos, lo que dificulta la toma de decisiones. Una herramienta útil para ello es el análisis de la producción biológica mediante el modelado matemático y que puede ser parte de un modelo bioeconómico. Dicho análisis, permite definir mejoras en el manejo para incrementar la producción. El presente proyecto desarrolla un modelo de

producción biológica del cultivo comercial semi-intensivo de camarón *Litopenaeus vannamei* cuando se realiza una precosecha utilizando bases de datos de la industria. El modelo quedó integrado por un submodelo biológico y un submodelo de variables ambientales (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) y de manejo (densidad, duración del cultivo y tamaño del estanque). El modelo propuesto implicado en el pronóstico de la obtención de biomasa pronosticó de manera adecuada la producción semi-intensiva de camarón *L. vannamei*. Los esquemas de manejo permitieron determinar las combinaciones de las variables para incrementar la producción ya que en las condiciones de manejo más desfavorables se obtienen 935 Kg ha⁻¹ y con las mejores se obtienen 2643 Kg ha⁻¹. El análisis de sensibilidad determinista mostró que en orden de importancia, la densidad de siembra, la duración del cultivo y el tiempo en que se realiza la precosecha fueron las variables de manejo que más afectaron la producción. Se concluye que el mejor esquema de manejo se pronosticó con densidades de 33.3 postlarvas m⁻², 13 semanas de duración del cultivo y que la precosecha se realice a la semana 11.

Palabras clave: Modelo de producción, camarón, análisis de sensibilidad

ABSTRACT

The cultivation of shrimp is one of the most important activities in the aquaculture of Mexico and Nayarit. However, producers face problems in the way they operate and analyze their data, making decision making difficult. A useful tool for this is the analysis of biological production through mathematical modeling and can be part of a bioeconomic model. Said analysis, allows to define improvements in the

management to increase the production. The present project develops a model of biological production of semi-intensive commercial shrimp culture *Litopenaeus vannamei* when pre-harvesting is performed using industry databases. The model was composed of a biological submodel and a submodel of environmental variables (temperature, salinity and dissolved oxygen) and management (density, crop duration and pond size). The proposed model involved in the prognosis of biomass production adequately predicted the semi-intensive production of shrimp *L. vannamei*. The management schemes allowed to determine the combinations of the variables to increase the production since in the most unfavorable management conditions 935 kg ha⁻¹ are obtained and with the best, 2643 kg ha⁻¹ are obtained. The deterministic sensitivity analysis showed that, in order of importance, the seed density, the duration of the crop and the time of pre-harvesting were the management variables that most affected the production.

It is concluded that the best management scheme was predicted with densities of 33.3 poslarvas m⁻², 13 weeks of cultivation duration and that pre-harvesting is performed at week 11.

Key words: Production model, shrimp, sensitivity analysis

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento de la producción acuícola de camarón, el análisis de los factores que influyen en la biomasa a obtener se ha vuelto muy importante. Generar un modelo de producción, permite mejorar el manejo para poder incrementar la producción. Generalmente, los modelos de producción

biológica forman parte de un modelo bioeconómico, que permite una vez completado el modelo para futuras investigaciones, poder hacer recomendaciones de manejo, de la variabilidad de la producción y del riesgo económico.

Se han publicado trabajos científicos relacionados con la bioeconomía con modelos deterministas para establecer distintas estrategias de manejo (Pardy *et al.*, 1983; Sadeh *et al.*, 1983; Hernández-Llamas y Magallón-Barajas, 1991; Martínez y Seijo, 2001a; Yu *et al.*, 2009), otros trabajos han incorporado elementos estocástico a los modelos bioeconómicos para analizar el riesgo económico de diferentes puntos de vista y con diversas especies (Griffin *et al.*, 1981; Sadeh *et al.*, 1986; Martínez y Seijo, 2001b; Valderrama y Engle, 2002; Hernández-Llamas *et al.*, 2004; Sanchez-Zazueta y Martínez-Cordero, 2009; Hernandez-Llamas *et al.*, 2013). Para efectos del presente trabajo, se han desarrollado algunos modelos de producción biológica para cultivos intensivos de camarón blanco, como los de Ruiz-Velazco *et al.* (2010a) para cultivos intensivos bajo condiciones normales y el de Ruiz-Velazco *et al.* (2010b) para cultivos intensivos incluyendo efecto de enfermedades como la mancha blanca. Recientemente Estrada-Pérez *et al.* (2015), analizaron la producción intensiva con tres precosechas por medio de un modelo biológico, sin abordar los aspectos económicos ni los esquemas producción con una y dos precosechas. Este último trabajo se realizó bajo condiciones de tecnología intensivo de camarón blanco.

No obstante que existe una serie de trabajos previos con bioeconomía de camarón y algunos otros de modelos de producción biológica, la mayoría de modelos de

producción biológica han abordado la producción intensiva de camarón. Sin embargo, es de tomarse en cuenta que la producción semiintensiva de camarón blanco, representa alrededor del 90% de la tecnología usada en México. De acuerdo a lo anteriormente expuesto, el presente trabajo propone un modelo de producción biológica que permitirá manejar el cultivo de camarón con tecnología semi-intensiva en las mejores condiciones de manejo para poder incrementar

la producción. Asimismo, además de las recomendaciones de manejo que se establecen en el presente trabajo, se hacen recomendaciones acerca de las variables de manejo que más impactan a la producción.

METODOLOGÍA

Para el presente trabajo, se utilizaron bases de datos proporcionadas por productores de camarón *L. vannamei* de Nayarit constando estas con datos sobre 11 estanques (Tabla 1).

Tabla 1. Valores mínimos y máximos de las variables registradas en la base de datos las cuales fueron usadas para el análisis.

Variable	Mínimo	Máximo
Siembra; Julio - Octubre		
Densidad (poslarvas m ⁻²)	13.3	33.3
Tamaño del estanque (ha)	0.6	7.0
Duración del cultivo (semanas)	13.0	16.0
Oxígeno disuelto(mg L ⁻¹)	3.7	5.5
Temperatura (°C)	31.3	32.2
Tiempo de la primer precosecha (semanas)	9	11
Biomasa precosechada (Kg ha ⁻¹)	360	1130
Camarones precosechados (%)	21.4	66.5

Modelo de producción Biológica

Siguiendo la metodología propuesta por Ruiz-Velazco (2011) y Hernández-Llamas *et al.* (2013) para un modelo bioeconómico, se construye un modelo de producción biológica el cual constó de dos submodelos: un submodelo biológico y un submodelo de variables ambientales y manejo.

Submodelo biológico

Se utilizó un modelo de inventario, propuesto por Leung y El-Gayar (1997), este modelo predice la biomasa en función del tiempo (b_t):

$$b_t = W_t n_t \quad (1)$$

donde W_t el peso (g) individual de los organismos y n_t es el número de organismos sobrevivientes en el tiempo t (semanas).

El peso individual de los organismos (W_t) en la semana t , fue estimado por el modelo desarrollado por Ruiz-Velazco *et al.* (2010a):

$$W_t = W_i + (W_f - W_i) [(1 - k^t) / (1 - k^c)]^3 \quad (2)$$

donde W_i es el peso inicial (g), W_f es el final, k es la velocidad a la cual el peso cambia de su valor inicial a su valor final y c es la duración del cultivo.

La sobrevivencia hasta antes de la primer precosecha (primera fase) se llevó a cabo por medio de la ecuación general (Gulland, 1969):

$$n_{t1} = n_1 \exp(-z_1 t) \quad (3a)$$

para determinar la supervivencia después de la primera precosecha (segunda fase) se modificó la ecuación de tal manera que se considera la cantidad de organismos precosechados. (Ruiz-Velazco *et al.*, 2010a):

$$n_{t2} = (n_1 \exp(-z_1 t_{c1}) - c_1) \exp(-z_2 (t - t_{c1})) \quad (3b)$$

donde n_{t1} hasta n_{t2} son la cantidad de organismos sobrevivientes en las distintas fases al tiempo t , n_1 hasta n_2 son el número inicial de individuos de cada fase, t_{c1} es el tiempo de la precosecha, c_1 es la cantidad de organismos precosechados y z_1 y z_2 son la tasa instantánea de mortalidad de cada fase, z se despeja de la Ecuación 3, por lo que:

$$z_1 = -\ln(n_{F1}/n_1) / t_{d1} \quad (4a)$$

$$z_2 = -\ln(n_{F2}/n_2) / t_{d2} \quad (4b)$$

siendo n_{F1} hasta n_{F2} los organismos sobrevivientes al final de cada fase, n_1 hasta n_2 son la cantidad de organismos al inicio de cada

fase, t_{d1} hasta t_{d2} son la duración de cada fase.

Submodelo de variables ambientales y de manejo para el modelo de inventario

Por medio de regresión lineal múltiple se relacionaron los parámetros del submodelo biológico (excluyendo a W_i y n_0) con las variables ambientales de calidad del agua y las de manejo del cultivo. Entre las primera se analizaron temperatura (T) y oxígeno disuelto (OD); y entre las segundas, densidad de siembra (D), tamaño del estanque (TE), duración del cultivo (DC). Se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = a_0 + a_1 T + a_2 OD + a_3 D + a_4 TE + a_5 DC \quad (5)$$

donde Q puede ser igual a W_f , k , z_1 , z_2 y PPC (porcentaje de biomasa precosechado por hectárea del total de organismos al tiempo de la precosecha), a_0 hasta a_5 son coeficientes de regresión, los cuales fueron estimados a partir de los casos registrados en la base de datos.

La construcción de los modelos constó de dos etapas: en la primera se utilizó el procedimiento de regresión *eliminación progresiva hacia atrás* para seleccionar las variables independientes que previamente resultaron significativas en el análisis de correlación, se utilizó el procedimiento de regresión lineal múltiple de *Stata 10* con $p < 0.1$ para aceptar o rechazar las variables independientes (se utilizó este nivel de significancia para no descartar variables importantes las cuales pudieran influir en los parámetros de los modelos), el procedimiento mencionado de acuerdo con manejo automáticamente la colinealidad.

En la segunda etapa se probó la capacidad de predicción del modelo, el cual se evaluó mediante una función de identidad entre los valores observados y los pronosticados por el modelo, de tal forma que el coeficiente (pendiente) de una regresión lineal simple (con intercepto igual a cero) no fuera significativamente diferente que uno, por medio de la prueba t (Poole, 1974; Zar, 2010). Posteriormente, se llevó a cabo una prueba de equivalencia (Chow y Liu, 2004) a fin de no aceptar falsamente la hipótesis nula correspondiente (error tipo II de la estadística; Hauck y Anderson, 1986; Zar, 2010). Para la prueba de equivalencia, se utilizó una tolerancia del 5% del valor de la pendiente (Garret, 1997).

Una vez establecidas las relaciones entre los parámetros del modelo de inventario y las variables de calidad del agua y manejo. Se determinaron las combinaciones de los valores de las variables de manejo que produjeron la menor y mayor producción promedio de la biomasa.

Se establecieron 5 niveles de manejo, el primer nivel correspondió a la menor producción de biomasa, los niveles siguientes fueron mejores, siendo el quinto nivel en el que se produce la mayor producción (Tabla 2).

Análisis de la sensibilidad de la producción

Se analizó la sensibilidad de los rendimientos de la producción determinista de acuerdo a los cambios en los valores mínimos y máximos de las variables de manejo para el peor y mejor

Esquemas de manejo

Tabla 2. Esquemas de manejo utilizados para la producción dinámica de camarón

Nivel de manejo	Densidad de siembra (poslarvas m ⁻²)	Duración del cultivo (semanas)	Tiempo de precosecha (semanas)
1	13.3	16.0	9.0
2	18.3	15.3	9.5
3	23.3	14.5	10.0
4	28.3	13.8	10.5
5	33.3	13.0	11.0

nivel de manejo. Para este análisis se utilizó el programa @RISK v.5.5,

V. RESULTADOS

Submodelos biológico

La utilización del modelo de crecimiento

(Ecuación 2) en los 11 casos en estudio fue satisfactorio en términos de la regresión no lineal ($P < 0.05$) ya que permitió describir la dinámica de crecimiento del camarón (Figura 1)

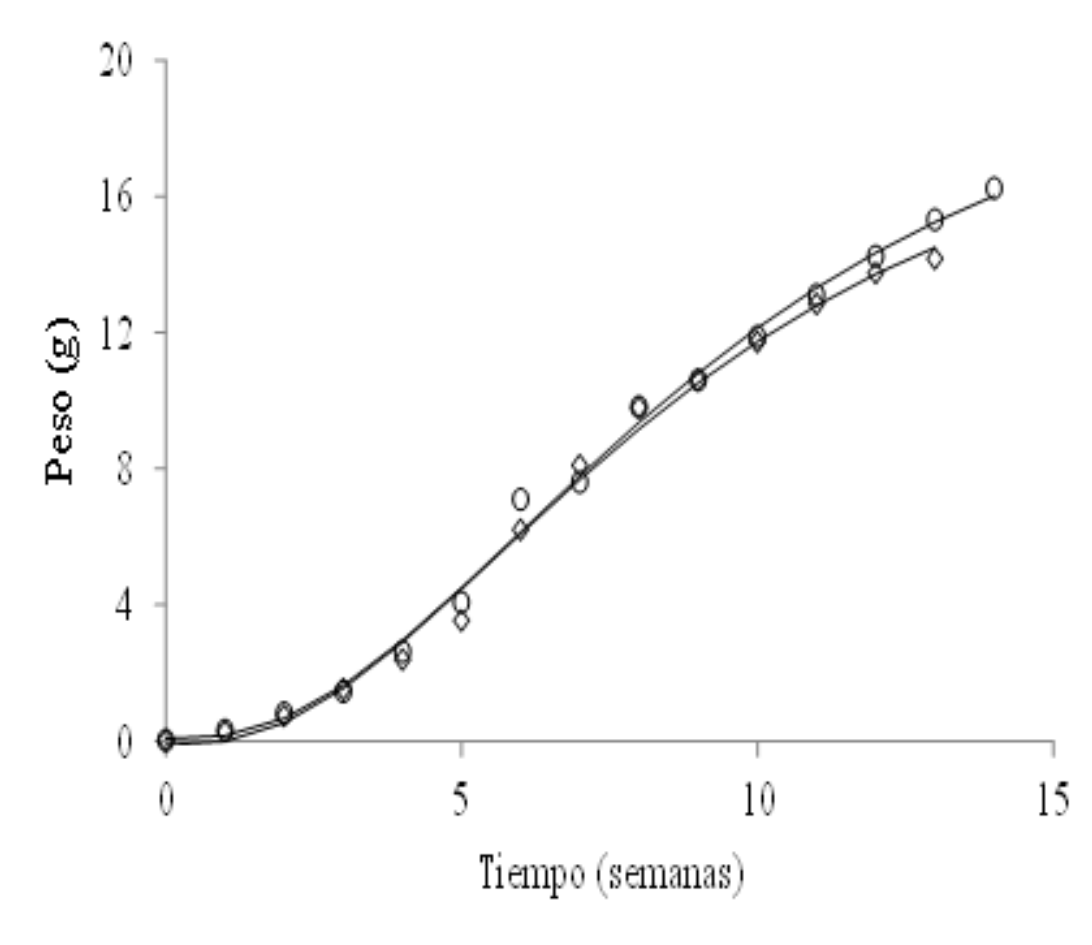


Figura 1. Ejemplos de curvas de crecimientos ajustadas con el modelo de crecimiento de Ruiz-Velazco et al. (2010a).

Submodelo de variables ambientales y de manejo para el modelo de inventario

Las relaciones encontradas mediante la regresión lineal múltiple entre los parámetros del modelo de inventario y las variables ambientales de calidad del agua y de manejo se muestran en la Tabla 3, la probabilidad de error P indica la significancia del ajuste.

Se encontró una relación inversa entre el peso final (W_f) y la densidad de siembra (D), la constante de crecimiento (k) se relacionó directamente con la duración del cultivo (DC), las tasas de mortalidad (z_1 y z_2) no se relacionaron con ninguna variable, el porcentaje precosechado (PPC_1) presentó una relación positiva con oxígeno disuelto (OD).

Capacidad predictiva del modelo de producción

Se encontraron relaciones significativas ($P < 0.05$) entre la biomasa observada en la base de datos y la pronosticada por el modelo. Los resultados de la regresión lineal entre la biomasa observada (BO) y biomasa

pronosticada (BP), así como la prueba de equivalencia permiten concluir que la pendiente es estadísticamente igual a uno, por lo que la capacidad predictiva de los modelos fue satisfactoria (Figura 2).

Esquemas de manejo

Una vez establecidas las relaciones de las variables de manejo con los parámetros de producción, se pudo pronosticar la biomasa a obtener con combinaciones extremas e intermedias de los valores de las variables de manejo registradas en la base de datos (Figura 3). La biomasa mínima promedio pronosticada con el nivel de manejo 1 fue de 935 Kg ha⁻¹ y con el nivel de manejo 5 fue de 2643 Kg ha⁻¹ (183% de incremento) (Figura 4), la mínima producción se obtuvo con una densidad inicial de 13.3 poslarvas m⁻² y 16 semanas de duración de cultivo y la precosecha a la semana 9, la mayor biomasa se pronosticó con densidades de 33.3 poslarvas m⁻² y 13 semanas de duración del cultivo y la precosecha a la semana 11.

Tabla 3. Modelos de regresión múltiple para calcular los parámetros del modelo de inventario en función de las variables de calidad del agua y manejo.

Modelo	p
$W_f = - 0.1201D + 16.9266$	0.0062
$k = 0.0174DC + 0.6045$	0.0161
$PPC = 17.2981OD - 39.4558$	0.0622

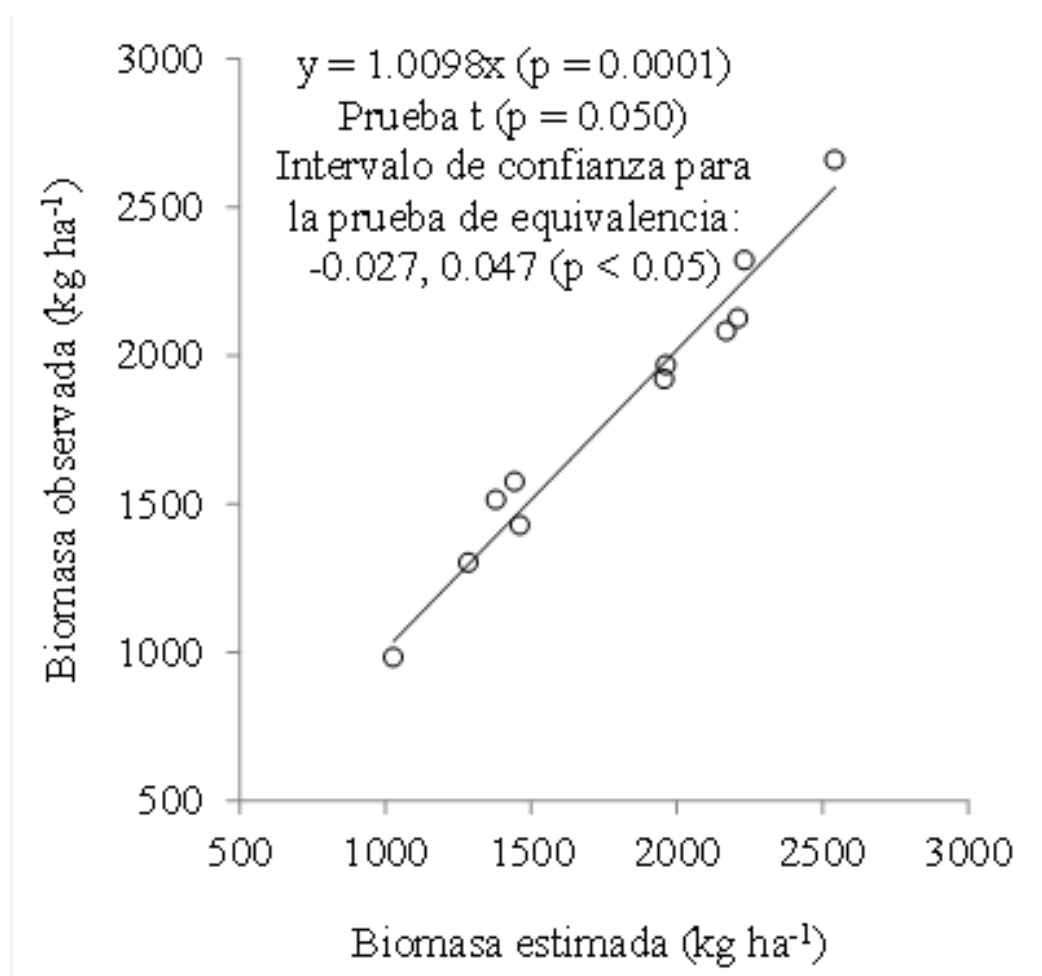
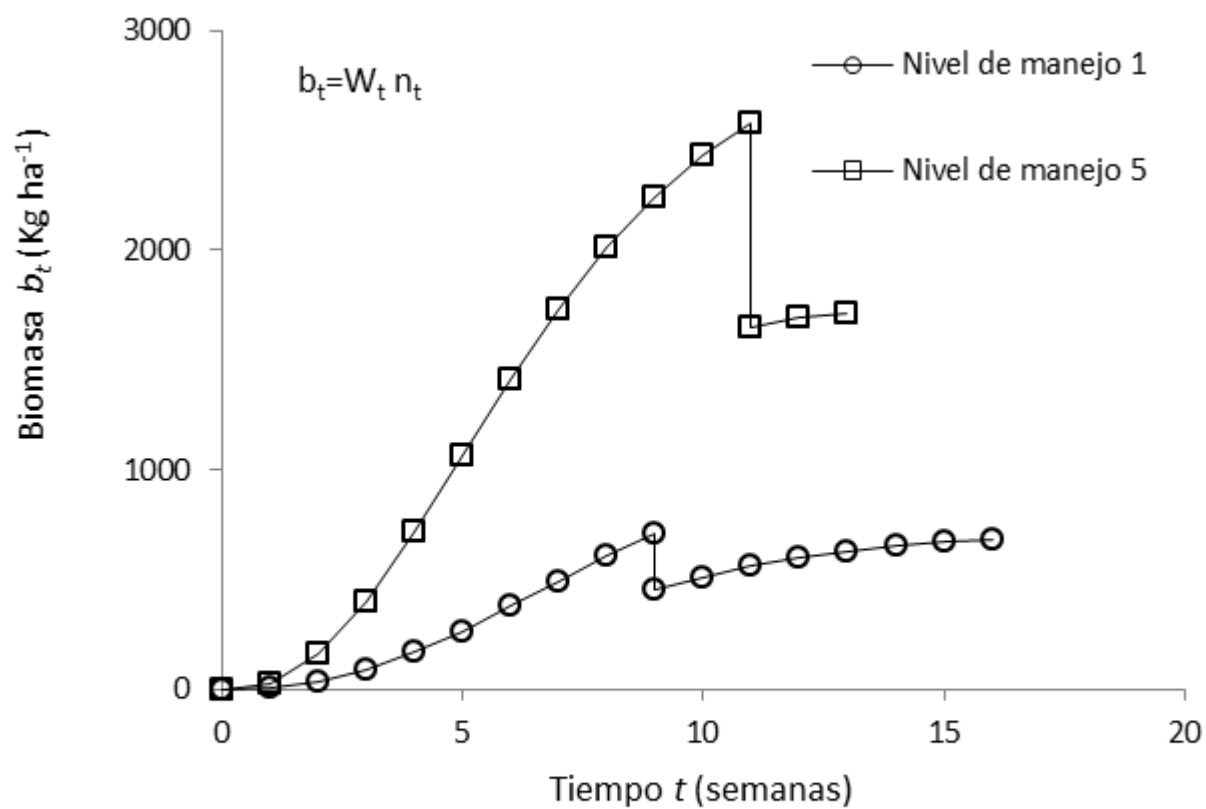


Figura 2. Relación entre la biomasa observada y la estimada usando el modelo de inventario y los coeficientes de la regresión de la Tabla 2.

Figura 3. Producción dinámica pronosticada a lo largo del ciclo de cultivo por el modelo de producción biológica.



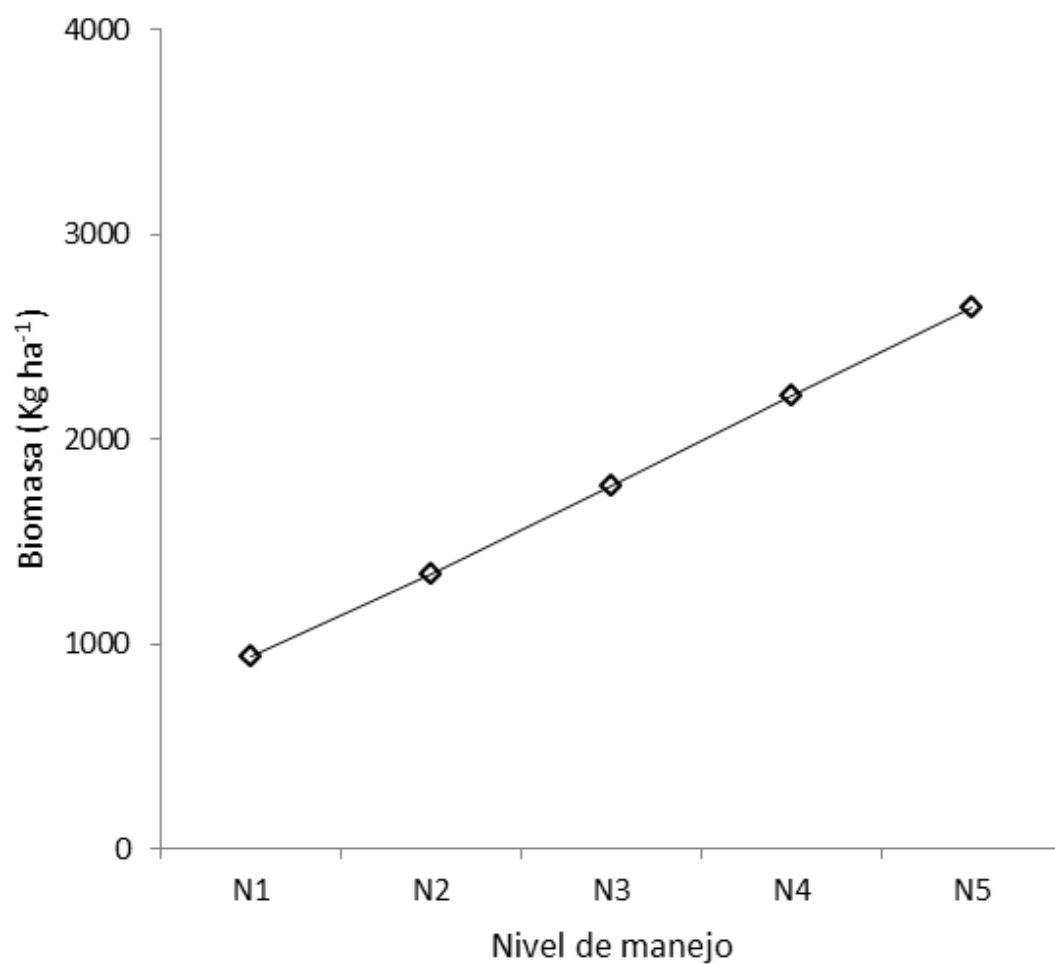


Figura 4. Biomasa proyectada por el modelo de producción biológica para los cinco niveles de manejo.

Análisis de correlación

Los resultados encontrados mediante un análisis de correlación entre los porcentajes precosechados y las tasas de mortalidad subsecuentes, mostraron una relación significativa ($P=0.003$) entre dicho porcentaje precosechado y la tasa de mortalidad después de la precosecha, es decir, mayores tasas de mortalidad se encontraron cuando mayores porcentajes de camarones fueron precosechados.

Análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis de sensibilidad de la producción a las variables de manejo (Figura 5) mostraron que la densidad de siembra es la más importante, posteriormente la duración del cultivo y después, los tiempos en que ocurren las diferentes precosechas, esta última como la menos importante.

VI. DISCUSIÓN

Los modelos de regresión lineal múltiple son considerados predictivos más que herramientas explicativas (Ruiz-Velazco *et al.*,

2010b), sin embargo, los modelos implicados para pronosticar la biomasa predijeron de manera adecuada la producción semi-intensiva de camarón *L. vannamei*. También, las relaciones entre las variables ambientales y de manejo con los parámetros de producción son consistentes con lo reportado regularmente en la literatura.

Por otro lado, se verificó que las curvas de crecimiento, así como la supervivencia pronosticada por los correspondientes modelos, se ajustaran adecuadamente a los registros en la base de datos.

Diversos estudios han reportado que hay una relación negativa del peso final con la densidad de siembra del camarón (Araneda *et al.*, 2008; Ruiz-Velazco, 2010a; Estrada-Pérez *et al.*, 2016).

Aunque se esperaba que no se alcanzara a discernir el efecto de la densidad de siembra en el crecimiento del camarón debido a la precosecha, esto no fue así, ya que en el

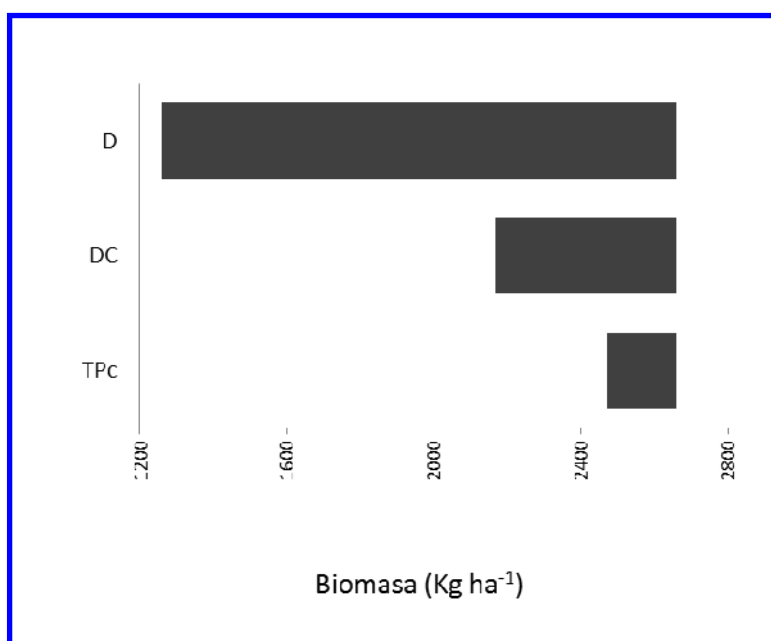


Figura 5. Análisis de sensibilidad de la producción a las variables de manejo. D es la densidad de siembra, DC duración del cultivo, TPc es el tiempo en que ocurre la precosecha.

presente estudio se encontró que la densidad inicial de siembra si afectó el crecimiento en peso del camarón. Altos niveles de oxígeno disuelto favorecen la supervivencia y el crecimiento (Hopkins *et al.*, 1991; Ruiz-Velazco *et al.*, 2010a). En términos generales, se encontró que el porcentaje de camarón precosechado estuvo relacionado directamente con el oxígeno disuelto, por lo que, aparentemente se efectúan mayores precosechas con oxígenos disueltos altos, sin embargo, generalmente los productores utilizan la estrategia de precosechar cuando su capacidad de carga del estanque se encuentra saturada y que generalmente se presenta cuando los oxígenos disueltos son bajos y por lo tanto se pone en riesgo la producción. Lo resultados no explica la poca precosecha con bajos niveles de oxígeno disuelto ya que en esas condiciones sería necesario incrementar el PPC y como consecuencia aumenta el oxígeno disuelto y mejora la calidad del agua. Lo anterior podría explicarse cuando el productor toma la decisión de precosechar por otras causas, como por ejemplo, tener liquidez para enfrentar compromisos económicos, lo cual ocurre a menudo.

El parámetro k tuvo una relación directa con la duración del cultivo, situación que coincide con el trabajo reportado por Ruiz-Velazco *et al.* (2010b) quienes explican que la interpretación de las relaciones de la k con las variables ambientales y de manejo no es sencilla, ya que cuando $k < 1$, la curva de crecimiento es de forma sigmoide y se encuentra mejor definida. Cuando $k > 1$, se interpreta que los camarones están creciendo exponencialmente. Las curvas sigmoides y exponenciales podrían estar relacionadas con diferentes condiciones operativas y no existe una razón a priori para

suponer que mejores o peores condiciones de cultivo conduzcan necesariamente a cualquiera de los dos tipos de curvas de crecimiento (Ruiz-Velazco *et al.*, 2010a).

Los resultados indicaron que conforme se mejora el manejo, la producción se incrementa, esto se demostró cuando la producción se incrementó de pasar del nivel de manejo 1 al nivel de manejo 5, por lo que es atribuible a la especial atención que habría que ponerle a las variables de manejo para optimizar la producción, la cual se ve incrementada principalmente por aumentos en la densidad de siembra. Un análisis bioeconómico permitirá determinar la viabilidad de esta estrategia debido a los costos asociados a las altas densidades de siembra. Ruiz-Velazco (2011) y Ruiz-Velazco *et al.*, (2013) reportan para cultivos intensivos y semi-intensivos, respectivamente, que la biomasa se incrementa cuando se mejora el manejo, lo cual es coincidente con el presente estudio. También se observó en el presente estudio, que la mortalidad de la fase final se incrementa con el porcentaje precosechado, esto puede ocurrir como consecuencia del método de captura, el cual requiere la disminución del nivel de agua del estanque y su posterior llenado provocando estrés en los organismos cultivados.

El análisis de sensibilidad determinista de la producción a las variables de manejo mostró que cualquier nivel de manejo y en orden de importancia, la densidad de siembra, la duración del cultivo y el tiempo en que se realiza la precosecha fueron las que salieron en el análisis. Se debe de tener especial atención a la densidad de siembra ya que cambios en los valores de esta variable pueden beneficiar o afectar a la producción de camarón.

Lo anterior es coincidente con los resultados encontrados por Ruiz-Velazco *et al.*, (2013) en producción semi-intensiva sin precosechas. Se concluye que la densidad de siembra se convierte en la variable más importante para definir una estrategia de manejo, ya que tiene un efecto tanto en el crecimiento de los organismos y con las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, otro factor que determina un buen crecimiento y buena supervivencia de los organismos.

VII. LITERATURA CITADA

- Araneda, M., Pérez, E.P., Gasca-Leyva E. (2008). White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: Condition state based on length and weight. *Aquaculture* 283: 13-18.
- Chow, S.C., Liu, J.P. (2004). Design and Analysis of Clinical Trials: Concepts and Methodologies, 2nd Ed. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey. 752 p
- Estrada-Pérez, A., Ruiz-Velazco, J. M. J., Hernández-Llamas, A., Zavala-Leal, I., Martínez-Cárdenas, L. (2015). Deterministic and stochastic models for analysis of partial harvesting strategies and improvement of intensive commercial production of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquacult. Eng.* 70: 56-62
- Garret, K.A. (1997). Use of statistical tests of equivalence (bioequivalence tests) in plant pathology. *Phytopathology* 87: 372-374.
- Griffin, W.L., Hanson J.S., Brick, R.W. y Johns, M.A. (1981). Bioeconomic modeling with stochastic elements in shrimp culture. *J. World Mar. Soc.* 12: 94-103.
- Gulland, J.A. (1969). Manual of Methods for Fish Stock Assessment: Part 1, Fish Population Analysis. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Hauck, W.W., Anderson, S. (1986). A proposal for interpreting and reporting negative studies. *Stat. Med.* 5: 203-209.
- Hernandez-Llamas, A., Gonzalez-Becerril, A., Hernandez-Vázquez, S. y Escutia-Zuñiga, S. (2004). Bioeconomic analysis of intensive production of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. *Aquacult. Res.* 35: 103-111.
- Hernández-Llamas, A., Magallón-Barajas, F.J. (1991). Análisis bioeconómico del cultivo del camarón azul (*Penaeus stylirostris*) con fertilizantes orgánicos y alimentación balanceada. *Investigaciones Marinas, CICIMAR* 6(2): 267-281.
- Hernandez-Llamas, A., Ruiz-Velazco, J.M.J., Gomez-Muñoz, V.M. (2013). Economic risk associated with white spot disease and stochastic variability in economic, zootechnical and water quality parameters for intensive production of *Litopenaeus vannamei*. *Reviews in Aquaculture*, 5: 121-131.
- Leung P., El-Gayar, O.F. (1997). The role of modeling in the managing and planning of sustainable aquaculture. In: Sustainable Aquaculture (ed. by J. Bardach), pp 149-175. John Wiley & Sons, Inc., New York.

- Martinez, J.A., Seijo, J.C. (2001a). Alternative cycling strategies for shrimp farming in arid zones of Mexico: Dealing with risk and uncertainty.
- Martínez, J.A., Seijo, J.C. (2001b). Economics of risk and uncertainty of alternative water exchange and aeration rates in semi-intensive shrimp culture systems. *Aquacult. Econ. Manage.* 5 (3-4): 129-146.
- Pardy, R., Griffin, W.L., Johns, M.A., Lawrence, A.L. (1983). A preliminary economic analysis of stocking strategies for penaeid shrimp culture. *J. World Mar. Soc.* 14: 49-63.
- Poole, R.W. (1974). *An introduction to Quantitative Ecology*. McGraw-Hill, New York. 532 p.
- Ruiz-Velazco, J.M.J. (2011). *Modelo bioeconómico para el análisis de riesgo del cultivo intensivo de camarón blanco (Litopenaeus vannamei)*. Tesis Doctoral. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 128 p.
- Ruiz-Velazco, J.M.J., Hernández-Llamas, A., Gómez-Muñoz, V.M., Magallon, F.J. (2010a). Dynamics of intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* affected by White spot disease. *Aquaculture* 300: 113-119
- Ruiz-Velazco, J.M.J., Hernández-Llamas, A., Gómez-Muñoz, V.M. (2010b). Management of stocking density, pond size, starting time of aeration, and duration of cultivation for intensive commercial production of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering* 43: 114-119.
- Ruiz-Velazco, J. M. J., Estrada-Pérez, M., Hernández-Llamas, A., Nieto-Navarro, J. T., Peña-Messina, E. (2013). Stock model and multivariate analysis for prediction of semi-intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* as a function of water quality and management variables: A stochastic approach. *Aquacult. Eng.* 56: 34-41
- Sadeh, A., Griffin W., Johns, M., Lawrence, A. (1983). A preliminary analysis of policulture in shrimp ponds. In: *Proceedings of the 1st International conference on warm water aquaculture crustacean*: 50-67.
- Sadeh, A., Pardy, C.R., Griffin, W., Lawrence, A.L. (1986). Uncertainty consideration resulting from temperature variation on growth of *Penaeus stylirostris* in ponds. *The Texas Journal of Science*. 38 (2): 159-172.
- Sanchez-Zazueta, E., Martinez-Cordero, F.J. (2009). Economic risk assessment of a semi-intensive shrimp farm in Sinaloa, Mexico. *Aquaculture Economics & Management*. 13 (4): 312-327.
- Valderrama, D., Engle, C.R. (2002). Economic optimization of shrimp farming in Honduras. *J. World Aquacult. Soc.* 33(4): 398-409.

Yu, R., Leung, P., Bienfang, P. (2009).
Modeling partial harvesting in intensive
shrimp culture: A network-flow approach.
European Journal of Operational Research
193: 262-271.

Zar, J.H. (2010). Biostatistical Analysis, 5th Ed.
Prentice Hall, Upper Saddle River, New
Jersey. 960p.

