



Fac. CC. Económicas y Empresariales
Universidad de La Laguna



Fac. CC. Económicas y Empresariales
Univ. de Las Palmas de Gran Canaria

Viabilidad económica del policultivo de Tilapia Nilótico y Langosta Australiana en el estado de Yucatán, México

D. Ponce^{*}, J. Hernández^{} y E. Gasca^{*}**

DOCUMENTO DE TRABAJO 2005-03

* Centro de Investigación y Estudios Avanzado del Instituto Politécnico Nacional.
Departamento de Recursos del Mar. Yucatán, México.

** Universidad de Las Palmas de G.C. Departamento Métodos Cuantitativos en
Economía y Gestión.

VIABILIDAD ECONÓMICA DEL POLICULTIVO DE TILAPIA NILÓTICA Y LANGOSTA AUSTRALIANA EN EL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO.¹

M. en C. Donny Víctor Ponce Marbán

Doctorando.

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
Departamento de Recursos del Mar, Km. 6 de la carretera antigua a Progreso s/n, Mérida,
Yucatán, México, C.P. 97201. Mail. donnyp@mda.cinvestav.mx.

Dr. Juan Hernández Guerra

Profesor Titular de Universidad.

Departamento de Métodos Cuantitativos en Economía y Gestión, Facultad de CC.EE. y EE,
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, c/Saulo Torón s/n, 35017 Las Palmas.

E-mail: jhernandez@dmc.ulpgc.es

Dr. Eucario Gasca Leyva

Investigador adjunto.

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
Departamento de Recursos del Mar, Km. 6 de la carretera antigua a Progreso s/n, Mérida,
Yucatán, México, C.P. 97201. Mail. eucario@mda.cinvestav.mx.

¹ Los autores agradecen a:

La Agencia Española de Cooperación Internacional del Ministerio de Asuntos Exteriores del Gobierno de España por la financiación de este proyecto.

PhD. Assaf Barki and PhD. Karplus Ilan of Department of Aquaculture, Institute of Animal Science, Agricultural Research Organization, Israel, por la base de datos facilitada para este trabajo.

VIABILIDAD ECONÓMICA DEL POLICULTIVO DE TILAPIA NILÓTICA Y LANGOSTA AUSTRALIANA EN EL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO.

Resumen

El cultivo de tilapia lleva desarrollándose desde hace décadas en comunidades rurales del estado del Yucatán, México. No obstante, la producción de esta especie en policultivo con otras de mayor valor comercial se presenta como una oportunidad de mejora sustancial en los rendimientos económicos de los acuicultores. Este trabajo analiza la viabilidad económica de implementar la estrategia del policultivo de tilapia nilótica con langosta australiana. Los resultados simulados sugieren que el policultivo incrementa la rentabilidad, abrevia el tiempo de recuperación de la inversión y actúa como inhibidor de riesgo ante cambios tanto en el precio de venta como en los costos de producción. Se observa también la existencia de una producción combinada óptima en densidades medias de abastecimiento de langosta.

Abstract

Tilapia fish is cultured in rural communities of Yucatan, Mexico, since decades. Nevertheless, production of this species in policulture with other more commercial valued ones is presented as an opportunity of substantial improvement in the economic revenues of farmers. This paper analyses the economic viability of implementing policulture of Nile tilapia and Australian crayfish. The simulated results suggest that policulture increases profitability, shortens the pay back and lowers the risk around shocks in selling price and production costs. An optimal output combination is observed for medium densities of crayfish.

Palabras clave: Acuicultura, policultivo, Yucatán, viabilidad económica, TIR

Codificación JEL: O13, Q22.

1. Introducción

El estado de Yucatán es de las entidades con mayores limitaciones económicas de la república mexicana. La economía de los habitantes de zonas rurales gira entorno a pequeñas parcelas familiares, las cuales pueden incluir hortalizas, cítricos y aves de corral. Debido al grado de marginación y pobreza de la gente del campo yucateco, el gobierno de México ha considerado a Yucatán dentro de los programas prioritarios de apoyo económico, y ha instaurado adaptar en estos lugares actividades productivas alternativas como la acuacultura. En consecuencia, y dado que la península Yucatán carece de ríos superficiales por el suelo calcáreo que la caracteriza, el gobierno federal desde finales de la década de los 70 y principios de los 80 ha intentado introducir el cultivo intensivo de tilapia en tanques de concreto, con el doble propósito de implementar sistemas de riego agrícola y el cultivo de este cíclido ([Flores Nava, 1998](#)). Sin embargo, problemas técnicos para implementar la tecnología, aunados a problemas sociales y culturales, junto con la duración sexenal de los programas de fomento, no permitieron el seguimiento y desarrollo de estos sistemas.

En México existe gran incertidumbre en la continuidad de estos programas con cada cambio de gobierno, de aquí la necesidad de buscar estrategias de producción que permitan la pronta consolidación de las empresas acuícolas rurales o bien, que coadyuven a atenuar los efectos de la falta de continuidad en dichos programas.

En el sexenio actual nuevamente se ha dado un gran impulso al desarrollo de la acuacultura en la entidad y en particular al cultivo de tilapia en zonas rurales, sin embargo no se puede hablar de su plena consolidación, ya que la curva de aprendizaje, asimilación y maduración de estos sistemas parece superar la duración sexenal de los programas de fomento.

En la acuacultura el policultivo es considerado como una estrategia de manejo que mejora considerablemente los rendimientos de producción por unidad de área, debido a que se aprovechan de mejor manera los recursos disponibles para el cultivo ([Bardach et al., 1972](#), [Landau, 1992](#)). Esta práctica consiste en la adición de una o más especies subordinadas a otra considerada “especie principal” del cultivo en cuestión ([De la Lanza-Espino et al., 1991](#)). La tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) es producida en muchas áreas tropicales del mundo por ser muy resistente y tener rápido crecimiento bajo una extensa variedad de esquemas de manejo ([Brummett and Alon, 1994](#)). En el estado de Yucatán, como en algunas otras entidades de México, tales como Morelos, Tabasco y Veracruz, el cultivo de tilapia es concebido como una actividad de autoconsumo y complementaria a las actividades agrícolas

y de pesquería, cuyos excedentes son vendidos a pie de estanque, en el mercado local o en algunos casos con fines turísticos (pesca y consumo in-situ).

En este trabajo se analiza la factibilidad económica del policultivo de tilapia nilótica y langosta australiana como estrategia de producción en el estado de Yucatán considerando la recuperación de la inversión para tres horizontes de tiempo (5, 10 y 15 años respectivamente). Varias líneas de investigación sobre este cíclido se han orientado a determinar la viabilidad técnica del policultivo con otros peces de agua dulce tales como, carpas, otras especies de tilapia ([Hulata et al, 1993](#); [Vromant et al, 2002](#)), crustáceos como el langostino (*Macrobrachium rosenbergii*) ([Cohen et al, 1983^a](#) ; [Cohen et al, 1983^b](#); [Tidwell et al, 2000](#); entre otros), y de manera más reciente con langosta australiana (*Cherax quadricarinatus*) ([Brummett and Alone, 1994](#); [Karplus et al, 1995](#); [Rouse and Kahan 1998](#); [Barki et al, 2001](#), [Karplus et al, 2001](#)). Este crustáceo se produce en México en varios estados de la República, tales como, Morelos, Tamaulipas y Veracruz en sistemas rurales de monocultivo. Los resultados de las investigaciones antes citadas muestran que técnicamente el policultivo de tilapia nilótica y langosta australiana es posible si se consideran, entre otros factores, la adición de refugios suficientes para la población total de langosta, así como separar espacial y temporalmente la ración de alimento.

Sin embargo el éxito o fracaso de cualquier estrategia de manejo no sólo depende de las posibilidades tecnológicas, sino también de los factores sociales y económicos implícitos en el entorno donde se desarrolle esta actividad ([Stewart and Seijo, 1994](#)). De aquí la necesidad de explorar la viabilidad económica de esta estrategia de manejo dado que no ha sido determinada. Para tal efecto, en el presente trabajo se empleará como metodología de evaluación un modelo bioeconómico dinámico en la que se compararán los resultados económicos modelados del monocultivo con los resultados de dos densidades de policultivo de estas especies.

Los modelos bioeconómicos consisten en el desarrollo de modelos matemáticos en los que se consideran aspectos biológicos, técnicos y económicos de la producción en un determinado entorno social ([Cacho, 1997](#)). La fortaleza de este tipo de análisis radica en el grado de abstracción del entorno real, el cual permite representar de manera simple pero objetiva la dinámica de una actividad en particular antes de tomar cualquier decisión que contenga implícito cierto riesgo.

Este tipo de modelos tuvo precedente en el análisis de pesquerías y ha sido adaptado en diversas formas para la acuicultura. Los trabajos de [Allen et al, 1984](#); [Bjorndal 1988](#); [Leung and Shang, 1989](#); [Cacho et al, 1990](#); [Springborn et al, 1992](#); [Cacho 1997](#); entre otros;

muestran la utilidad de los modelos bioeconómicos como herramienta de evaluación. Sin embargo existen pocos trabajos de valoración económica relacionados con el policultivo de organismos acuáticos. No obstante [Boll and Lanzer, 1995](#), evaluaron el policultivo de tilapia con carpas chinas a través de un análisis bioeconómico, por otra parte [Sadek and Moreau, 1996](#) y [1998](#), realizaron estudios de beneficio-costo de tilapia con especies de alto valor comercial como el langostino (*Macrobrachium rosenbergii*); y de manera más reciente [Irz and Mckenzie, 2003](#), han hecho análisis de factibilidad y eficiencia económica en el policultivo de camarón con peces de agua marina. Cabe mencionar que estos trabajos han abordado el análisis económico del policultivo en sistemas de baja intensidad, los cuales con sus resultados incitan a futuras investigaciones en sistemas más intensivos.

En las siguientes secciones se detallarán los pormenores del modelo bioeconómico en los materiales y métodos, seguidamente se presentarán los resultados económicos más relevantes del modelo, mismos que se comentan y discuten en una sección que antecede a las conclusiones derivadas de este trabajo.

2. Materiales y métodos

El modelo bioeconómico aquí presentado, está basado conceptualmente en la teoría de *Dinámica de Sistemas*. Un sistema dinámico puede definirse como un conjunto de elementos cuya organización interna produce un comportamiento común que evoluciona a lo largo del tiempo. Desde esta óptica este modelo fue construido a partir de la extracción de los elementos que se consideraron más importantes dentro del sistema de producción de tilapia y langosta australiana. El modelo consta de un sub-modelo biológico que describe el crecimiento de ambas especies, un sub-modelo de manejo el cual influye en su desarrollo y un sub-modelo económico en el que se describen las principales variables de entrada y salida del entorno económico de productores de tilapia del estado de Yucatán. La [Figura 1](#) muestra esquemáticamente las interrelaciones entre los tres sub-modelos antes mencionados y las principales variables que los integran.

El modelo fue parametrizado en Excel 2000 (Microsoft Corporation 1995-1999) y construido en Powersim 2.51 (Academic, Powersim AS) para la simulación de escenarios. Se realizó una prueba de bondad de ajuste de las funciones de crecimiento de ambas especies contrastando los resultados modelados con los datos reales a través del estadístico Theil

(Barlas, 1989)²; así como un análisis de sensibilidad que determina qué variables tienen mayor influencia sobre la dinámica económica de los escenarios simulados. Los valores de los parámetros y variables del modelo están resumidos en las tablas [A1](#), [A2](#) y [A3](#) del apéndice.

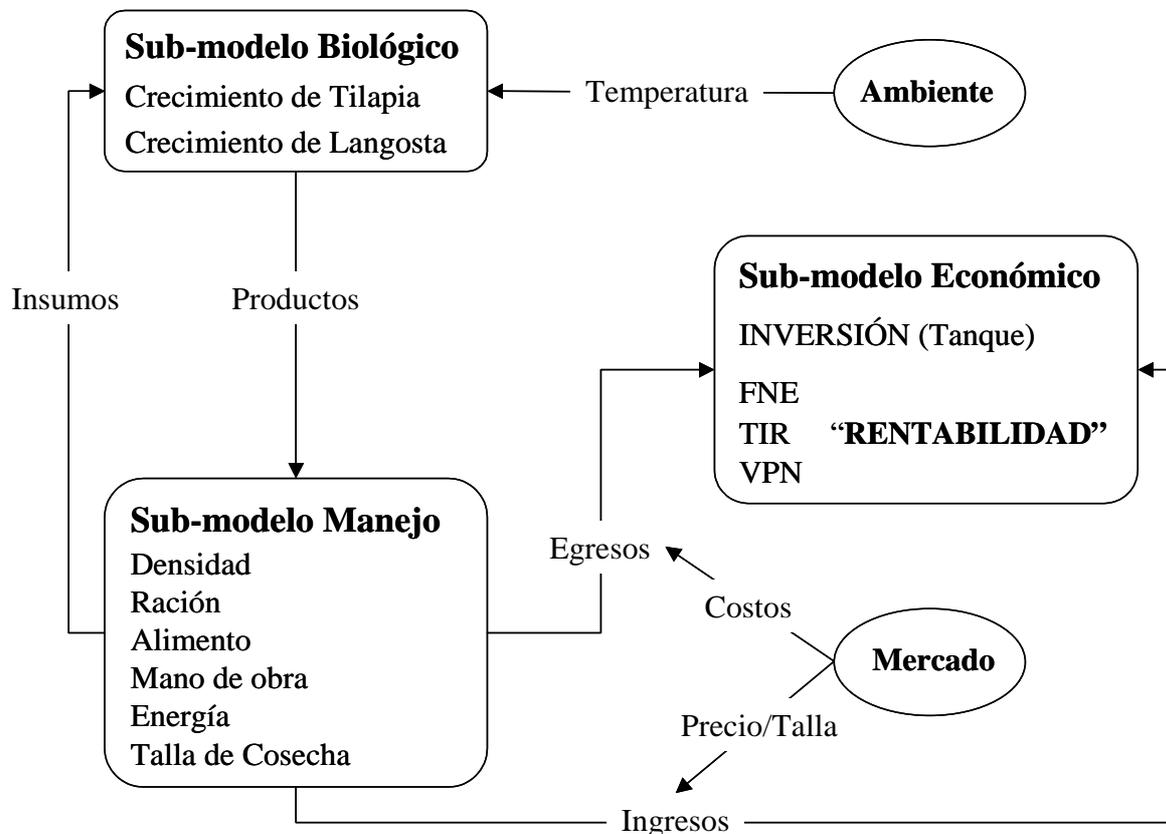


Figura 1. Modelo bioeconómico. □ Modelo dinámico, ○ Variable exógena.

Debido a la falta de datos empíricos o experimentales del policultivo de estas especies en México, y dada la similitud en las condiciones de manejo respecto a la densidad de cultivo de tilapia en el estado de Yucatán³, se utilizaron los datos de [Karplus et al. 2001](#) para la parametrización del sub-modelo biológico.⁴

2.1. Sub-modelo biológico

En este sub-modelo se incorporó una función crecimiento de tipo Von Bertalanffy que se utilizó para describir el desarrollo de ambas especies, integrando a ésta una función de

² Se advierte que ambos modelos de crecimiento sólo fueron ajustados a los datos disponibles y no han sido validados por falta de datos de contraste.

³ Las condiciones generales del cultivo de tilapia en el estado son de carácter semi-intensivo, manejando densidades de entre 25 y 35 alevines revertidos por m³. Cabe mencionar que el número de granjas rurales en el estado de Yucatán es inferior a los 100 productores.

⁴ La disposición de la base de datos experimentales fue realizada en forma directa con los autores del trabajo por comunicación electrónica.

corrección térmica que aglutina el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de los organismos ([ver apéndice ecuaciones 1-2](#)). Un modelo muy similar fue empleado por [Martínez y Seijo 2001](#) para describir el crecimiento de camarón en Bahía de la Paz, México.

El crecimiento fue ajustado al ciclo anual de temperatura de Mérida, Yucatán, ([ver Tabla A2](#)). Los datos de la temperatura ambiental promedio por día de la ciudad de Mérida, Yucatán (1950-2002), fueron obtenidos de la Comisión Nacional del Agua por correo electrónico⁵.

2.2. Sub-modelo de manejo

En este sub-modelo se consideraron las principales variables de control del cultivo, tales como la densidad, cantidad y calidad de alimento, etc., y que guardan una estrecha relación con el crecimiento de los organismos y con los resultados económicos de la granja. Consideramos en el modelo que la dimensión de los tanques es de 10m de diámetro por 1.8 metros de altura y 1.5 metros al espejo de agua, los cuales son abastecidos con agua del subsuelo por bombeo comunitario⁶ con recambios parciales (50%) cada tercer día y un recambio total por semana. Los ciclos de producción se asumieron como continuos a lo largo de cada horizonte de tiempo, es decir que en cuanto se cosecha se vuelve a abastecer el tanque para dar inicio a otro ciclo de cultivo. La mortalidad fue estimada basándose en los resultados publicados [Karplus et al. 2001](#) para cada combinación de cultivo ([ver apéndice ecuación 3](#)).

Respecto al régimen de alimentación se consideró basado en alimento comercial pelletizado con un contenido proteico de 30%, a una tasa de alimentación 3% biomasa para ambas especies. La biomasa fue estimada por medio de las [ecuaciones 4y 5](#) del apéndice. La talla de cosecha para la tilapia se fijó en 400 g, cosechando a la vez a la langosta sin importar cual sea su peso final.

2.3 Sub-modelo económico

En este sub-modelo, a través de indicadores de rentabilidad tales como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto de la inversión (VPN), se han incluido las variables de mayor impacto sobre los resultados económicos ([ecuaciones 8-16 del apéndice](#)). Dentro de las variables de entrada del modelo se consideró el precio de mercado a pie de estanque de

⁵ jespino@mailsmn.cna.gob.mx

⁶ El servicio de bombeo es proporcionado por los gobiernos municipales con el principal objetivo de irrigación de pequeñas parcelas.

ambas especies⁷, el costo de alevines de tilapia y juveniles de langosta, el alimento, la energía (Costo de bombeo), la mano de obra (horas hombre) y como inversión inicial se tomó el valor de un tanque de concreto⁸. La depreciación fue calculada por el método de línea recta para tres horizontes de tiempo sobre el valor de los tanques de concreto (5, 10 y 15 años respectivamente). Como variables de salida se consideraron los siguientes indicadores económico-financieros: Valor presente neto (VPN) y la Tasa interna de retorno (TIR). Como tasa de descuento se asumió el valor de los CETES 28 días como la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). Los valores iniciales de las variables del sub-modelo económico se ilustran en la [Tabla A3](#) del apéndice. Debido a que en las simulaciones del modelo del último ciclo de cultivo simulado no coincide de manera exacta con el final de cada horizonte de tiempo, se decidió cancelar el reabastecer del tanque en este último ciclo si el peso de la tilapia no superaba los 250g al final de cada horizonte de tiempo. En caso contrario, se simuló la cosecha y venta de ambas especies tomando el precio de mercado para la talla alcanzada. Se tomó esta medida con la finalidad de no introducir ruido en los resultados económicos del modelo. Se simuló el crecimiento de ambas especies bajo tres escenarios: 1) monocultivo de tilapia, 2) policultivo baja densidad, y 3) policultivo alta densidad, manteniendo la densidad de tilapia constante en los tres casos. La talla de inicio en cada combinación simulada se describe en la [Tabla A1](#) del apéndice.

La simulación inició en el día 1 que corresponde al primer día del mes de enero y se simuló para 5, 10 y 15 años respectivamente.

3. Resultados

Los resultados económicos de las simulaciones del modelo para cada combinación y horizonte de tiempo, son resumidos en la [Tabla 1](#). Bajo los supuestos considerados, al comparar los resultados del monocultivo con las dos combinaciones de policultivo, los indicadores de rentabilidad muestran una gran mejoría cuando se adopta el policultivo como estrategia de manejo, y la diferencia es más evidente cuando el horizonte de tiempo es más corto. Tal es el caso que cuando el plazo de recuperación del capital fue de cinco años, sólo en las combinaciones de policultivo se logró que el valor presente neto de la inversión fuera mayor a cero. Esto se debió a que en estos escenarios el rendimiento sobre la inversión fue

⁷ En el caso de la langosta australiana, por no producirse actualmente en el estado de Yucatán, se ha tomado el precio de mercado de los productores del estado de Morelos.

⁸ El valor del tanque de concreto fue estimado en función requisición de los materiales de construcción y los datos obtenidos por entrevistas con productores del estado de Yucatán en el 2004.

mayor a la tasa de descuento (TMAR), mientras que en el monocultivo, si bien la TIR fue positiva, ésta fue tan baja que no alcanzó a cubrir la tasa mínima aceptable de rendimiento ([ver Tabla 1](#)), lo que indica que bajo el esquema de monocultivo las granjas de tilapia de Yucatán no recuperan la totalidad de su inversión en dicho plazo. Este es un indicador de suma importancia, debido a que la creación de empresas acuícolas rurales en el estado de Yucatán generalmente es producto de los planes sexenales gubernamentales del Estado, teniendo así periodos de tiempo muy cortos para su consolidación.

Tabla 1 Principales indicadores económicos del policultivo de tilapia y langosta australiana en diferentes densidades de cultivo en estado de Yucatán calculados a un plazo de recuperación de capital u horizonte de tiempo de 5, 10 y 15 años respectivamente

Plazo en Años	Densidad	TIR	VPN
5	33/0	0.84%	-\$4,855.06
	33/10	14.43%	\$7,923.33
	33/20	8.82%	\$1,519.88
10	33/0	19.44%	\$17,646.84
	33/10	24.84%	\$35,029.91
	33/20	22.68%	\$32,164.33
15	33/0	23.71%	\$32,948.54
	33/10	28.26%	\$57,464.20
	33/20	26.07%	\$54,104.55

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los mejores rendimientos se obtuvieron en la combinación 33/10 y esta tendencia se mantuvo en el largo plazo. Esto puede explicarse debido a que comparado con los escenarios 33/0 y 33/20, en la combinación 33/10 se logró una mayor ganancia de peso por día en ambas especies, lo que derivó en ciclos de cultivo ligeramente más cortos, logrando por un lado reducir los costos de producción y por otro incrementar el número de cosechas e ingresos por año.

Como refuerzo de los comentarios anteriores, en la [Figura 2](#) se muestra gráficamente el comportamiento de la tasa interna de retorno para cada escenario de cultivo y horizonte de tiempo. En ella no sólo se aprecia la amplia diferencia en la rentabilidad entre la estrategia de monocultivo y las dos combinaciones de policultivo a cinco años, sino también el incremento que experimenta la rentabilidad cuando el horizonte temporal pasa de cinco a diez años, así como también esta variación es mucho menor y más uniforme cuando pasa de diez a quince años. Esto sugiere que bajo las condiciones modeladas, la estrategia de policultivo incrementa

la rentabilidad hasta un punto el cual alcanza un máximo para a continuación decrecer conforme la densidad de siembra de la langosta aumenta.

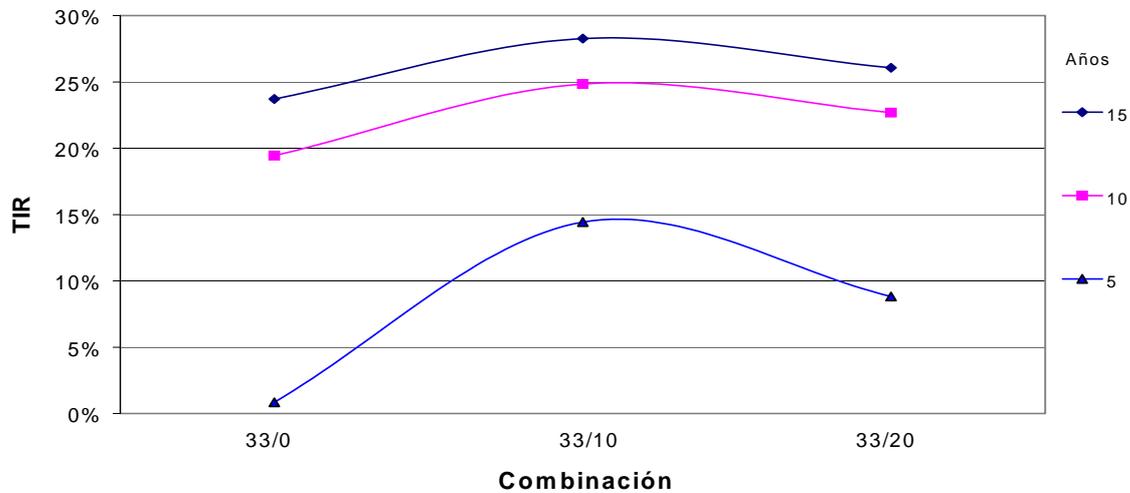


Fig. 2 Variación de la tasa interna de retorno por combinación de cultivo y horizonte de tiempo de recuperación de la inversión

En la [Tabla 2](#) se comparan los resultados simulados promedio por ciclo del monocultivo con los dos escenarios de policultivo. Es notable que no obstante los ingresos brutos por la venta de tilapia fueron inferiores en ambas combinaciones de policultivo, esta disminución fue compensada por los ingresos provenientes de la venta de la langosta, logrando incrementar los ingresos brutos en 1.7% y 7.4% para la combinación 33/10 y 33/20 respectivamente. La disminución en los ingresos se atribuye a una reducción de la biomasa de tilapia cosechada por ciclo debido a un incremento en la mortalidad de ésta bajo condiciones del policultivo. Aunado a esto, y a pesar del aumento del costo de semilla del 25% y 50% para la combinación 33/10 y 33/20 respectivamente, la estrategia de policultivo redujo sustancialmente los costos de producción, dado que al acortarse el tiempo de cultivo por la mayor ganancia de peso de la tilapia, se redujo el costo de la ración en 8.5% y 7%, y los costos fijos en 6.7% y 5%, lo que en consecuencia se tradujo en una considerable mejora en los ingresos netos del orden de 21.8% y 23%, ya que estos costos representan más del 70% de los costos totales de producción para las combinaciones 33/10 y 33/20 respectivamente.

Estos resultados reiteran lo observado en la Figura 1, pues al incrementar la densidad de siembra de la langosta, la producción de policultivo tiende un máximo en 33/10 y a partir de este punto tiende a presentar rendimientos marginales decrecientes, debido a que cuando la relación pasa de 33/0 a 33/10 el costo es marginalmente inferior al rendimiento económico

obtenido, mientras que al incrementar la densidad de 33/10 a 33/20 el costo es marginalmente superior al beneficio resultante.

Tabla 2 Estado de resultados promedio proforma por ciclo de cultivo

	33/0		33/10		33/20	
Ingresos	Tilapia	Tilapia	Cherax	Tilapia	Cherax	
Biomasa	1,456.72	1,363.55	19.59	1,371.57	32.17	
Precio de venta	30	30	180	30	180	
Ingresos brutos	43,701.60	40,906.50	3,526.20	41,147.10	5,790.60	
Costos variables						
No. Alevines, Juveniles	3,888	3,888	785	3,888	1,571	
\$/Alevín, Juvenil	2.0	2.0	2.5	2.0	2.5	
Costo de Juveniles	7,776.00	7,776.00	1,962.50	7,776.00	3,927.50	
Alimento Consumido	3,854.95	3,434.04	71.89	3,425.57	122.91	
\$/Kg alimento	6.40	6.40	8.40	6.40	8.40	
Costo Alimento	24,671.68	21,977.86	603.88	21,923.65	1,032.44	
FCR	2.65	2.52	3.67	2.50	3.82	
Días / ciclo	179	167		170		
Ciclos / año	2.04	2.19		2.14		
Costos Fijos*						
\$/Energía	716.00		668.00		680.80	
\$/Mano de obra	4,886.16		4,558.60		4,645.95	
Costo total	\$38,049.84		\$37,546.83		\$39,986.34	
Ingreso neto**	\$5,651.76		\$6,885.87		\$6,951.36	

* Los costos de energía y mano de obra fueron calculados como fijos por día y el valor presentado en la tabla depende de la duración del ciclo de cultivo.

** Ingresos netos antes de depreciación, impuestos y subsidios.

Por otra parte, en el análisis de sensibilidad que se muestra en la [Tabla 3](#) se midió el aumento porcentual de la TIR ante un cambio unitario en el precio de venta y los principales costos de producción de ambas especies. Los resultados de este análisis advierten que bajo las condiciones simuladas, la TIR guarda relación directa y más que proporcional a cambios en el precio de la tilapia, y que el grado de sensibilidad es mucho mayor cuando el periodo de recuperación de la inversión es más corto. Este efecto precio fue más fuerte en el escenario de monocultivo de tilapia, de tal forma que en el plazo de cinco años, un cambio porcentual en el precio de tilapia representará un cambio en el mismo sentido de más del 600% sobre este

indicador de rentabilidad, mientras que en los escenarios de policultivo el efecto es considerablemente inferior, del orden de 22.97% y 56.68% para las combinaciones 33/10 y 33/20 respectivamente, en el mismo horizonte de tiempo. Por otra parte la TIR no mostró cambios significativos respecto al precio de la langosta pues la sensibilidad fue del orden de 1.97 y 5.93% en los escenarios 33/10 y 33/20 respectivamente en el mismo horizonte temporal. Sin embargo la sensibilidad aumentó más que proporcionalmente al incrementar la densidad de langosta.

La sensibilidad a cambios en el precio de tilapia fue considerablemente inferior en los horizontes de tiempo de 10 y 15 años, sobre todo en el monocultivo pues de 616.92 descendió a 22.89 y 17.73% respectivamente, mientras que en el policultivo, si bien hubo una mejoría notable en ambas combinaciones, al compararse entre sí no mostraron una diferencia significativa ya que su valor fue muy similar (12.84 y 13.59 % en el horizonte 10, y 10.83 y 11.45% en el horizonte 15 respectivamente).

Estos resultados sugieren que la inclusión de langosta australiana en el cultivo de tilapia tiene un efecto amortiguador ante el riesgo de cambios en el precio de este cíclido sobre la rentabilidad simulada de las granjas en el estado de Yucatán, y que este efecto es mayor en periodos de recuperación más cortos, lo que lo hace que sea aún más atractivo debido al entorno sexenal en que se generan estas empresas.

Tabla 3 Análisis de sensibilidad. Cambio porcentual de la TIR ante un aumento porcentual en el precio de venta, el costo de alimento y el costo de semilla de Tilapia y Langosta Australiana respectivamente, en el estado de Yucatán, México. $((TIR_i - TIR_0)/TIR_0)/0.01$

Año	33/0		33/10		33/20	
	T	T	L	T	L	
Precio de Venta						
5	616.92	22.97	1.97	56.68	5.93	
10	22.89	12.84	1.07	13.59	1.83	
15	17.73	10.83	0.89	11.45	1.54	
Costo de Alimento						
5	-346.45	-13.05	-0.36	-23.87	-1.12	
10	-23.69	-7.28	-0.20	-7.78	-0.36	
15	-9.87	-6.13	-0.17	-6.55	-0.31	
Costo de Semilla						
5	-106.88	-4.78	-1.21	-8.61	-4.35	
10	-4.23	-2.70	-0.68	-2.79	-1.41	
15	-3.33	-2.28	-0.58	-2.37	-1.19	

Por otra parte la TIR mostró un efecto menor pero no menos importante ante cambios en el costo de alimento y alevines tilapia, mostrando tener una relación de tipo inverso sobre estos costos, y que al igual que en el caso del precio de venta su comportamiento fue más pronunciado en los escenarios de monocultivo de más corto plazo, lo cual reitera nuevamente la importancia del horizonte temporal para la consolidación de las empresas rurales del sector acuícola en el estado de Yucatán.

En todas la pruebas de sensibilidad, este efecto amortiguador del riesgo fue más notorio en la combinación 33/10 de policultivo respecto a los resultados de la combinación 33/20 y del monocultivo de tilapia, lo cual apunta a que esta densidad resulta ser la más favorable para el cultivo bajo las condiciones simuladas.

En lo que concierne a la sensibilidad de la TIR respecto a cambios en el costo de alimento y juveniles de langosta, no hubo cambios significativos sobre la rentabilidad, de lo que podemos intuir cierta estabilidad de la producción de langosta ante cambios en los precios y costos de mercado. Sin embargo al incrementar la densidad de cultivo de la langosta los indicadores de rentabilidad experimentan un incremento marginal más que proporcional.

4. Discusión

Como se ha expuesto anteriormente, el horizonte temporal juega un rol determinante en la consolidación de las empresas acuícolas en sectores rurales en el estado de Yucatán, México. De aquí que al no tener certidumbre en la continuidad de los programas sexenales de apoyo con cada cambio de gobierno, sea necesario investigar y proponer estrategias alternativas de producción que permitan la pronta recuperación del capital invertido en dichas empresas.

Los resultados de las simulaciones del modelo aquí presentado sugieren que la estrategia de policultivo mejora sustancialmente la rentabilidad comparado con lo obtenido en el monocultivo de tilapia en los tres horizontes temporales. Esto se atribuye a que la tilapia, en condiciones de competencia, puede comer parte de las excretas y alimento ofrecido a la especie subordinada en cuestión traduciéndose en mejores tasas de crecimiento de este cíclido ([Boll and Lanzer, 1995](#)). Aunado a esto y de acuerdo con [Rouse and Kahan 1998](#), dado el carácter no agresivo de la langosta, ésta parece no incidir significativamente sobre la mortalidad de la tilapia, de tal forma que aún cuando en condiciones de policultivo existe una disminución en la cantidad de biomasa cosechada de la tilapia, esta es compensada por los ingresos obtenidos por la venta de la langosta y la reducción en los costos de producción.

Los costos de producción se reducen debido a que los ciclos de cultivo son más cortos, dada la mayor ganancia de peso de la tilapia en los escenarios de policultivo, mientras que por otra parte los ingresos brutos aumentan por el valor comercial que ha alcanzado la langosta en México que puede ser comparado con el precio de langostinos y algunas especies de camarón.

Tal como se mostró en la [Figura 2](#), en el horizonte temporal de 5 años sólo las combinaciones de policultivo lograron obtener una tasa de rendimiento superior a la tasa de descuento, condición necesaria que permite que el valor presente neto de la inversión sea positivo, cubriendo así con los objetivos de rendimiento, riesgo y plazo del capital invertido en empresas acuícolas del sector rural en el estado de Yucatán.

Por otra parte, el análisis de sensibilidad sugiere que la inclusión de la langosta en el cultivo de tilapia tiene un efecto amortiguador ante cambios en el precio y costos de mercado de este cíclido, e indica que al diversificar el cultivo con especies de alto valor comercial como la langosta, se atenúa el riesgo de mercado implícito.

Si bien los resultados de las simulaciones muestran ser favorables a adoptar la estrategia del policultivo de tilapia con langosta australiana, en el modelo no han sido

considerados ciertos factores que pueden cambiar esta perspectiva, ya que actualmente la langosta australiana no se produce en la península de Yucatán y su potencial aceptación en mercado local es aún incierta. Así también lo es su precio de venta en esta región, ya que al ser similar al valor comercial de los langostinos y algunas especies de camarón ya presentes en el mercado del estado de Yucatán, esto puede generar una fuerte incertidumbre sobre este nuevo producto por la existencia de bienes sustitutos potencialmente competitivos.

Por otra parte, al carecer de información generada en México de este policultivo, fue necesario el empleo de datos experimentales de crecimiento procedentes de Israel para la parametrización del modelo de crecimiento de ambas especies. Esto puede generar cierta controversia respecto a que el incremento en peso simulado pudiese no coincidir con los resultados de crecimiento de policultivo en esta región de México, sin embargo, dada similitud de la densidad y condiciones de cultivo de tilapia (temperatura) en la península de Yucatán, consideramos no haber perdido objetividad en el análisis y que, tal como lo comenta Pauly (1988), es una práctica aceptable y válida bajo estas circunstancias.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados de los escenarios simulados bajo los supuestos y salvedades de modelo bioeconómico aquí presentado, se puede concluir que la inclusión de langosta australiana en el cultivo de tilapia de granjas rurales en el estado de Yucatán, México, tiene efectos positivos en la consolidación de estas empresas.

Esto es debido a que por un lado, dicha estrategia de manejo puede ayudar a incrementar la rentabilidad y acelerar el tiempo de recuperación de la inversión, y por otro, actuar como inhibidor del riesgo ante cambios tanto en el precio de venta como en los costos de producción, sobre todo en plazos de recuperación relativamente cortos.

Referencias bibliográficas

Allen, P.G., Botsford, L. W., Schuur, A.M. and Johnston, W.E. (1984): “Bioeconomics of Aquaculture”, *Elsevier*, Amsterdam.

Bardach, J. E., Ryther, J. H. and Mclarney, W. O. (1972): “Aquaculture; the farming and husbandry of freshwater and marine organisms”, *Wiley-interscience*.

Barki, A., Gur N. and Karplus, I. (2001): “Management of interespecific food competition in fish-crayfish communal culture: the effects of the spatial and temporal separation of feed”, *Aquaculture*, Vol. 201, págs. 343-354.

Barlas, Y. (1988): “Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 42, págs. 59-87.

Bjorndal, T. (1988): “Optimal Harvest Time in Fish Farming”, *Marine Resource Economics*, Vol. 5, N°2, págs. 139-159.

Boll, M. G. and Lanzer, E. A. (1995): “Bioeconomic study of fish production on polyculture system on south Brazil”, *In Sustainable Aquaculture 95*, Honolulu, Hawaii, Pacific Congress on Marine Science and Technology, págs. 16-23.

Brummett, R., E. and Alon. N. C. (1994): “Polyculture of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in earthen ponds”, *Aquaculture*, Vol. 122, págs. 47-54.

Cacho, O., Hatch, U. and Kinnucan H. (1990): “Bioeconomic analysis of fish growth: Effects of dietary protein and ration size”, *Aquaculture*, Vol. 88, págs. 223-238.

Cacho, O. (1997): “Systems modeling and bioeconomic modeling in aquaculture”, *Aquaculture Economics and Management*, Vol. 1, N°1, págs.45-64.

Cohen, D. and Ra'anán, Z. (1983): "The Production of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in Israel. III. Density effects of all-male tilapia hybrids on prawn yield characters in polyculture", *Aquaculture*, Vol. 35, págs. 57-71.

Cohen, D., Ra'anán, Z. and Barnes, A. (1983): "Production of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in Israel. I. Integration into fish polyculture system", *Aquaculture*, Vol. 31, págs. 67-76.

De La Laza-Espino, G, De Lara-Andrade, R, and García-Calderón, J. L. (1991): "La acuicultura en palabras", México, AGT Editor, S.A.

Flores-Nava, A. (1998): "La acuicultura industrial en el estado de Yucatán. Situación actual y perspectivas", en: La acuicultura en el sureste de México. *Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR*, México, págs. 167-173.

Irz, X. and McKenzie, V. (2003): "Profitability and technical efficiency of aquaculture systems in Papanga, Philippines", *Aquaculture Economics and Management*, Vol. 7, N°3-4, págs.195-211.

Karplus, I., Barki, A., Cohen, S. and Hulata G. (1995): "Culture of the Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Israel. 1. Polyculture with fish in earthen ponds", *The Israeli Journal of Aquaculture-Bemidgah*, Vol. 47, págs. 6-16.

Karplus, I. Harpaz, S. Hulata, G., Segev, R. and Barki, A. (2001): "Culture of the Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Israel VI. Crayfish incorporation into intensive tilapia production units", *The Israeli Journal of Aquaculture-Bemidgah*, Vol. 53, N°1, págs.23-33.

Landau, M. (1992): "Introduction to aquaculture", *John Wiley & Sons, inc.* págs. 3-20; 290-305.

Leung, P. and Shang, Y. (1989): "Modeling prawn production management systems: A dynamic Markov decision approach", *Agricultural Engineering*, Vol. 5, págs.171-182.

Fredson J. K. T. Chikafumbwa, Costa-Pierce B. A., Jamu D. M., Kadongola W. K. and Balarin J. D. (1993): "Investigations on the use of on-farm resources as pond inputs to culture *Tilapia rendalli* and *Oreochromis shiranus* on smallholder farms in rural Malawi", *Aquaculture*, Vol. 117, N°3-4, págs. 261-271.

Hulata, G., Wohlfarth G. W., Karplus, I., Schroeder, G. L., Harpaz, S. Halevy A., Rothbard, S., Cohen, S., Israel, I. and Kavessa, M. (1993): "Evaluation of *Oreochromis niloticus*×*O. aureus* hybrid progeny of different geographical isolates, reared under varying management regimes", *Aquaculture*, Vol.115, N°3-4, págs. 253-271.

Martínez J. A. and Seijo J. C. (2001): "Economic of risk and uncertainty of alternative water exchange and aeration rates in semi-intensive shrimp culture systems", *Aquaculture Economics and Management*, Vol. 5, N°3-4, págs. 129-145.

Pauly, D. (1988): "On using other people's data", *NAGA, The ICLARM Quarterly*, Vol. 11, N°1, págs. 6-8.

Rouse, D. B. and Kahn B. M. (1998): "Production of Australian red claw *Cherax quadricarinatus* in polyculture with Nile tilapia *Oreochromis niloticus*", *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol. 29, N°3, págs. 340-344.

Sadek, S., and Jacques M. (1996): "Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) culture in earthen ponds in the Nile Delta, Egypt: Culture parameters and cost-benefits", *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*, Vol. 48, N°4, págs. 201-218.

Sadek, S., and Moreau J. (1998): "Culture of *Macrobrachium rosenbergii* in monoculture and polyculture with *Oreochromis niloticus* in paddies in Egypt". *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*, Vol. 50, N°1, págs. 33-42.

Springborn, R. R., Jensen A. L., Chang, W. Y. B. and Engle, C. (1992): "Optimum harvest time in aquaculture: an application of economic principles to a Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), growth model", *Aquaculture and Fisheries and Management*, Vol. 23, págs. 639-647.

Stewart, J. A. y Seijo, J. C. (1994): “Economía del cultivo de *Cichlasoma urophthalmus*”, en: Martínez-Palacios C. A. y Roos L. G. (Eds.), “Biología y cultivo de mojarra latinoamericana *Cichlasoma urophthalmus*”, *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*, México, págs.165-190.

Tidwell, J., Coyle S. D., VanArnum A. and Weibel C. (2000): “Growth, survival, and body composition of cage-culture Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed pelleted and unpelleted distilled grains with solubles in polyculture with freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*”, *Journal of the World Aquaculture Society*, Vol. 31, N°4, págs. 627-631.

Vromant, Nico, Cao Quoc N. and Frans, O. (2002): “Growth performance of *Barbodes gonionotus* (Bleeker) in intensively cultivated rice fields”. *Aquaculture*, Vol. 212, N°1-4, págs.167-178.

Apéndice

Descripción del sub-modelo biológico:

$$W_T(t) = W_{T\infty} * (1 - e^{-(c_T + b_T * \varphi(t))^{3*(t-t_{T0})}})^3 \quad (1)$$

$$W_L(t) = W_{L\infty} * (1 - e^{-(c_L + b_L * \varphi(t))^{3*(t-t_{L0})}})^3 \quad (2)$$

Donde:

$W_T(t)$ = Peso de la tilapia en el tiempo t (g)

$W_{T\infty}$ = Peso asintótico de la tilapia en condiciones de cultivo

t_{T0} = Edad teórica cuando $W_T = 0$

$W_L(t)$ = Peso de la langosta en el tiempo t (g)

$W_{L\infty}$ = Peso asintótico de la langosta en condiciones de cultivo

t = Tiempo en días

t_{L0} = Edad teórica cuando $W_L = 0$

$\varphi(t)$ = Temperatura media estimada en Mérida, Yucatán, México.

c_T, b_T, c_L and b_L Parámetros constantes

$$\varphi(t) = \varphi_A + \varphi_R * \text{SIN}(2\pi * (t_c - t_a)/365) \quad (3)$$

Donde:

$\varphi(t)$ = Temperatura del agua en el día (t)

φ_A = Temperatura media anual

$\varphi_R = (\varphi_{\max} - \varphi_{\min})/2$

φ_{\max} = Temperatura máxima media

φ_{\min} = Temperatura mínima media

t_c = Día del año

t_a = Día del año cuando $\varphi_t = \varphi_A$ (en temperatura creciente)

Descripción del sub-modelo de manejo:

$$B_T(t) = N_T(t) * W_T(t) \quad (4)$$

$$B_L(t) = N_L(t) * W_L(t) \quad (5)$$

$$N_T(t) = N_{T0} * e^{-z_T t} \quad (6)$$

$$N_L(t) = N_{L0} * e^{-z_L t} \quad (7)$$

Donde:

$B_T(t)$ = Biomasa de tilapia en el tiempo t (kg/área)

$N_T(t)$ = Población en el tiempo t (organismos/área (m^3))

N_{T0} = Población inicial de tilapia (organismos/área (m^3))

z_T = Tasa constante de mortalidad de tilapia (%/día)

$B_L(t)$ = Biomasa de langosta en el tiempo t (kg/área)

$N_L(t)$ = Población de langosta en el tiempo t (organismos/área (m^2))

N_{L0} = Población inicial de langosta (organismos/área (m^2))

z_L = Tasa de mortalidad constante de langosta (%/día)

Descripción del sub-modelo económico:

$$TI(t) = VB_T(t) + VB_L(t) \quad (8)$$

$$VB_T(t) = B_T(t) * P_{T_w} \quad (9)$$

$$VB_L(t) = B_L(t) * P_{L_w} \quad (10)$$

Donde:

TI = Ingresos brutos totales

$VB_T(t)$ = Valor de la biomasa de tilapia en el tiempo t

$VB_L(t)$ = Valor de la biomasa de langosta en el tiempo t

P_{T_w} = Precio de venta de tilapia a pie de estanque según su talla

P_{L_w} = Precio de venta de langosta a pie de estanque según su talla

$$TC(t) = FC(t) + VC(t) \quad (11)$$

$$FC(t) = LC(t) + EC(t) + DP(t) \quad (12)$$

$$VC(t) = TAC(t) + TRC(t) + LJC(t) + LRC(t) + OVC(t) \quad (15)$$

$$OVC(t) = 0.05 * (TAC(t) + TRC(t) + LJC(t) + LRC(t)) \quad (16)$$

Donde:

TC(t)= Costo total en t

FC(t)= Costos fijos en t

VC(t)= Costos variables en t (\$/día)*

LC(t)= Costo de mano de obra en t (\$/día)

EC(t)= Costo de energía en t (\$/día)

DP(t)= Depreciación (\$/día) (inversión inicial entre 5, 10 y 15 años, respectivamente)

TAC(t)= Costo de alevines de tilapia (\$/Alevín)

TRC(t)= Costo de la ración de tilapia en t (\$/Kg)

LJC(t)= Costo de juveniles de langosta (\$/Juvenil)

LRC(t)= Costo de la ración de langosta (\$/Kg)

OVC(t)= Otros costos variables (5% sobre TAC, TRC, LJC y LRC)

*\$=dólares mexicanos

Variables de salida

TIR= Tasa interna de retorno

VPN= Valor Presente neto

Glosario

TMAR (Tasa mínima aceptable de retorno (CETES 28 días, tasa de riesgo mínimo en México))

CETES (Certificado de la tesorería de la federación)

Tabla A1. Resumen de valores de supuestos y parámetros del sub-modelo biológico.

Densidad ($T(m^3)/L(m^2)$)	Monocultivo	Policultivo	Policultivo
	33/0	33/10	33/20
Talla de inicio			
Tilapia	20.65 g	20.66 g	20.47 g
Langosta	-	7.17 g	7.02 g
Parámetros Tilapia			
$W_{T\infty}$	850 g	850 g	850 g
c_T	0.1674	0.1747	0.1764
b_T	0.00077555	0.00063568	0.00054257
t_{T0}	48.05	48.05	46.4
Parámetros Langosta			
$W_{L\infty}$	-	80 g	80 g
c_L	-	0.16016	0.1570
b_L	-	0.001355	0.001109
t_{L0}	-	71.54	83.54
Mortalidad			
Tilapia (z_T)	0.000386	0.000761	0.000594
Langosta (z_L)	-	0.003840	0.004302

Tabla A2. Parámetros Temperatura para el ciclo anual de la ciudad de Mérida, México

Parámetro	Descripción	Valor
φA	Temperatura media anual	26
φR	Varianza	3
$\varphi \max$	Temperatura media máxima	29
$\varphi \min$	Temperatura media mínima	23
t_a	Día del año en que la temperatura en el día t es igual a la temperatura media en su parte creciente	66

Tabla A3. Resumen de las principales variables y valores de inicio del sub-modelo económico

Concepto	Descripción	Valor	Unidad
Precio			
Tilapia	Mayor a 400 g	30	\$/Kg
	Entre 350 y 400 g	25	\$/Kg
	Entre 250 y 350 g	20	\$/Kg
Langosta	Mayor a 35 g	180	\$/Kg
	Entre 25 y 35 g	150	\$/Kg
Costos			
Alevines de tilapia	20 g	2	\$/c/u
Juveniles de langosta	7 g	2.5	\$/c/u
Alimento de tilapia	Purina (Tilapia show 30%)	6.4	\$/Kg
Alimento de langosta	Purina (Camaronina 30%)	8.4	\$/Kg
Mano de obra	(Horas hombre/día)	27.4	\$/Día
Depreciación	5 años	20	%(anual)
	10 años	10	%(anual)
	15 años	6.67	%(anual)
Inversión			
Tanque	Tanque circular de concreto (10 m diámetro por 1.8 m de altura)	\$19,000	Unidad
Tasa de descuento (TMAR)	CETES 28 días	7.27	%